



Optimisation et analyse des réseaux intelligents et des réseaux hétérogènes

Ahmad Jabban

► To cite this version:

Ahmad Jabban. Optimisation et analyse des réseaux intelligents et des réseaux hétérogènes. Autre. INSA de Rennes, 2013. Français. NNT : 2013ISAR0020 . tel-00881045

HAL Id: tel-00881045

<https://theses.hal.science/tel-00881045>

Submitted on 7 Nov 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Résumé

Le travail réalisé dans le cadre de cette thèse permet d'évaluer et d'optimiser la charge de signalisation dans les réseaux intelligents (RI) à grande échelle ainsi que d'analyser plusieurs aspects liés aux réseaux hétérogènes.

L'objectif principal des RI est de faciliter l'introduction de nouveaux services en se basant sur plus de flexibilité et de nouvelles fonctionnalités. Les composants principaux d'un RI sont le point de commutation de services (SSP) et le point de commande de services (SCP). L'emplacement des équipements de réseau et la répartition du trafic peuvent jouer un rôle important dans la réduction du volume de la signalisation. Dans la première partie de la thèse, nous examinons plusieurs configurations du RI à grande échelle dans le but d'analyser les effets du déplacement, de l'addition des nouveaux commutateurs SSP et de la redistribution du trafic au sein du réseau sur le nombre requis de liens de signalisation. Nous proposons un algorithme assurant la distribution optimale du trafic sur les commutateurs SSP avec le nombre minimum requis de liens de signalisation.

Dans la deuxième partie de la thèse, nous analysons les différentes stratégies de sélection de réseaux dans un contexte de réseaux hétérogènes. En effet, dans la prochaine génération de réseaux sans fil et mobiles, les utilisateurs pourront se déplacer entre les réseaux hétérogènes en utilisant des terminaux équipés d'interfaces d'accès de plusieurs types. Dans ce contexte, les terminaux mobiles sont en mesure de choisir le lien d'accès le plus approprié parmi les options disponibles. Dans notre travail, nous proposons une stratégie de sélection basée sur la valeur estimée de SINR (Rapport signal à interférence plus bruit) dans un système hétérogène composé de deux types de réseau : LTE et WiFi. Avec cette stratégie, les utilisateurs sélectionnent toujours le réseau présentant le SINR le plus élevé afin d'effectuer leurs communications. En se basant sur la méthode de Markov, nous analysons dans un premier temps, les performances de la stratégie de sélection basée sur le SINR en termes de probabilités de blocage de demandes d'accès aux services, de probabilités de blocage de handover vertical ou horizontal et de qualité de connexion. Nous comparons les résultats obtenus avec deux autres stratégies basées sur la puissance du signal reçu et sur la disponibilité de bande passante. Les performances sont analysées et comparées selon les modèles de mobilité 2D fluid flow et Random WayPoint qui sont largement utilisés dans l'analyse des réseaux sans fil et mobiles. Finalement, nous analysons les influences de l'allocation de ressources du réseau LTE aux services Multicast et Unicast sur les performances du système.

Abstract

This thesis analyses the signaling load in intelligent large scale networks as well as the network selection strategies in the heterogeneous environment.

The main objective of Intelligent Networks (IN) is to simplify the introduction of new services based on new features and more flexibility. The main components of the IN are the Service Switching Point (SSP) and the Service Control Point (SCP). The location of intelligent large-scale network equipments and the distribution of traffic on them can play an important role in reducing the volume of signaling in the network. In the first part of this thesis, we examine various configurations of the IN in order to study the effect of displacement or addition of new SSP and redistribution of traffic within the network on the required number of signaling links. Finally, we propose a new algorithm giving the optimal distribution of traffic on the SSPs with a minimum required number of signaling links.

In the second part of the thesis, we analyze the different network selection strategies as well as simulate other approaches related to heterogeneous wireless environment. Indeed, in the next generation of wireless heterogeneous networks, mobile users can move between several types of networks, using terminals with multiple access interfaces. In this environment, the mobile terminals are able to choose the most appropriate access link among the available alternatives. In our work, we propose a network selection strategy based on the estimated SINR value (Signal to Interference-plus-Noise Ratio) in a heterogeneous system composed of two types of network: LTE and WiFi. According to this strategy, users always select the network presenting the highest SINR value. Based on the Markov method, we analyze the system performance in terms of blocking probabilities of calls, blocking probabilities of vertical or horizontal handover and connection quality. We compare our results with two other strategies based on the received signal strength and on the bandwidth availability. The performances are analyzed and compared according to the 2D fluid flow and the Random Waypoint mobility models which are widely used in the analysis of wireless and mobile networks. Finally, we analyze the influence of the resource blocks allocation to services Multicast and Unicast on the system performance.

Thèse

2013

Ahmad JABBAN

THESE INSA Rennes
sous le sceau de l'Université européenne de Bretagne
pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE L'INSA DE RENNES
Spécialité : Electronique et Télécommunications

présentée par

Ahmad Jabban
ECOLE DOCTORALE : MATISSE
LABORATOIRE : IETR

Optimisation et analyse des réseaux intelligents et des réseaux hétérogènes

Thèse soutenue le 16.09.2013
devant le jury composé de :

Jean-François Diouris
Professeur à l'école Polytech de Nantes / président
Yves Lostanlen
Professeur affilié à l'Université de Toronto, HDR / rapporteur
Gilles Burel
Professeur à l'Université de Bretagne Occidentale / rapporteur
Matthieu Crussiere
Maitre de Conférences à l'INSA de Rennes / examinateur
Youssef Nasser
Professeur associé à l'Université Américaine de Beyrouth / Co-encadrant de thèse
Maryline Hélard
Professeur à l'INSA de Rennes / Directrice de thèse



N° d'ordre : 13ISAR 20 / D13 - 20

Institut National des Sciences Appliquées de Rennes

20, Avenue des Buttes de Coësmes • CS 70839 • F-35708 Rennes Cedex 7

Tel : 02 23 23 82 00 - Fax : 02 23 23 83 96

Optimisation et analyse des réseaux intelligents et des réseaux hétérogènes

Ahmad Jabban



Abstract

This thesis analyses the signaling load in intelligent large scale networks as well as the network selection strategies in the heterogeneous environment.

The main objective of Intelligent Networks (IN) is to simplify the introduction of new services based on new features and more flexibility. The idea is to separate the service control from the service switching by means of standardized structure. The main components of the IN are the Service Switching Point (SSP) and the Service Control Point (SCP). The SCP is a centralized resource, containing the service execution logic. The SSP is a digital switching exchange which detects any request from a subscriber and communicates with SCP to get information about the connection that must be created. The SCP interworks with the SSP via signaling system number 7 (SS7) using a limited set of commands that is described by an IN Application Protocol (INAP). The intelligent large-scale network is a network that covers a large geographical area. Users of these networks as well as its equipments are located in areas with different time zones. The location of intelligent large-scale network equipments and the distribution of traffic on them can play an important role in reducing the volume of signaling in the network. In the first part of this thesis, we examine various configurations of the IN in order to study the effect of displacement or addition of new SSP nodes and redistribution of traffic on the required number of signaling links. An algorithm is next proposed to give the optimal distribution of traffic arriving from the local exchanges on SSP nodes in order to have a minimum number of signaling relations.

In the second part of the thesis, we analyze the different network selection strategies as well as simulate other approaches related to heterogeneous wireless environment. Indeed, in the next generation of wireless heterogeneous networks, mobile users can move between several types of networks, using terminals with multiple access interfaces. In this environment, the mobile terminals are able to choose the most appropriate access link among the available alternatives. In our work, we consider a selection strategy based on the estimated value of SINR (Signal to Interference-plus-Noise Ratio) in a heterogeneous system composed of two types of network: LTE and WiFi. Users according to this strategy always select the network presenting higher SINR value to make their communications. Services of different requirements and constrained in terms of resources as well as different types of mobility are taken into account. Based on the Markov method, we analyze the performance of the system in terms of blocking probability of calls, blocking probabilities of vertical or horizontal handover and connection quality. Our results,

obtained with SINR-based network selection, are compared with other strategies found in the literature. The mobility model effect as well as resources blocks allocation to Multicast services and to Unicast services of different requirements are also processed and analyzed.

Remerciements

Ma thèse est effectuée au sein de laboratoire de l'Institut d'Electronique et des Télécommunications de Rennes (IETR) dans le groupe Communications – Propagation - Radar (CPR) et sous la direction de Prof. Maryline HELARD et l'encadrement de Dr. Youssef NASSER.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde et très sincère reconnaissance à mes directeurs de thèse. J'adresse de chaleureux remerciements à Maryline HELARD, professeur à l'INSA de Rennes, pour son soutien constant, le temps conséquent qu'elle m'a accordé, ses qualités pédagogiques et scientifiques et sa sympathie. J'exprime également toute ma gratitude à Youssef NASSER, professeur associé à l' Université Américaine de Beyrouth, pour son attention de tout instant sur mes travaux, pour ses conseils avisés et son écoute, sachant répondre à toutes mes interrogations, sans oublier son énorme qualité humaine. Ses conseils et ses commentaires précieux m'ont permis de surmonter les difficultés et étaient prépondérants pour la bonne réussite de cette thèse.

Je voudrais également adresser mes remerciements à l'ensemble des membres du jury, sans qui mes travaux de recherche n'auraient pu donné lieu à cette thèse. Je remercie Yves LOSTANLEN, Professeur affilié à l'Université de Toronto, et Gilles BUREL, Professeur à l'Université de Bretagne Occidentale, d'avoir accepté la position de rapporteurs de ce travail et d'accepter de participer à mon jury. Je remercie également les membres examinateurs de ce jury : Jean-François DIOURIS, Professeur à l'école Polytech de Nantes, président du jury, et Matthieu CRUSIERE, Maître de Conférences à l'INSA de Rennes, pour avoir pris de leur temps et avoir accepté d'examiner mon travail.

Je tiens à adresser un grand merci à l'ensemble des permanents, doctorants et stagiaires que j'ai rencontrés durant ces trois années pour leur sympathie, leur amitié et leur bonne humeur au quotidien, et plus particulièrement, à Stéphane MERIC, Aurore GOUIN, Abdallah HAMINI, Abdallah HASKOU, Mehdi AICHOUCH, Saber DAKHLI, Imane, Bachir HABIB, Toni MAKDESI et François YVES qui ont contribué à la bonne ambiance des journées au labo.

J'exprime également ma très grande gratitude à mes parents, mes frères et mes sœurs pour m'avoir soutenu et encouragé, depuis la Syrie, tout au long de mes études et sans lesquels je n'en serais pas là aujourd'hui. Je remercie également du fond du cœur ma femme pour son soutien et sa patience pendant ces dernières années. Une pensée particulière est dédiée également à mon petit fils Mostapha pour avoir m'apporté la joie et la gaieté de sa naissance ainsi que sa patience pendant mon absence. Un grand remerciement à tous les membres de ma famille qui m'accompagnent sur le chemin de la vie, tant lors

d'événements heureux que lors des moments difficiles et auxquels je dédie ce rapport de thèse.

Ces remerciements ne seraient pas complets sans une pensée pour des amis de longue date, Ahmad Baaj, Diab Alhassan, Abd alkarim Othmane, Jamal et Mostapha Jarkas. Un immense merci à Ahmad Baaj, un ami très spéciale, qui m'aura soutenu dès le début et m'aura aidé dans les périodes de doute. Merci de m'avoir aidé et encouragé, et pour m'avoir changé les idées quand j'en avais besoin.

Toutes mes excuses à ceux que j'aurais oubliés ...

Table des matières

Abstract	iii
Remerciements.....	v
Table des matières	vii
Liste des figures	xi
Liste des tableaux	xiii
Liste des abréviations	xv
Introduction	1
Chapitre 1. Réseaux intelligents et hétérogènes.....	5
1.1 Réseaux intelligents.....	5
1.1.1 Définition du réseau intelligent.....	5
1.1.2 Objectifs du réseau intelligent.....	5
1.1.3 Un peu d'histoire (Architecture du réseau intelligent).....	6
1.1.4 Normes internationales des réseaux intelligents	8
1.1.5 Le protocole de signalisation INAP	9
1.1.6 Evolution du réseau intelligent et thèmes de recherche	11
1.2 Réseaux hétérogènes.....	15
1.2.1 Evolution des systèmes de communication sans fil et mobiles.....	15
1.2.2 Définition et objectifs des réseaux hétérogènes	20
1.2.3 Exigences des réseaux hétérogènes.....	20
1.2.4 La stratégie de sélection et les critères de choix	25
1.2.5 Les modèles de mobilité.....	27
1.3 Conclusion.....	29
Chapitre 2. Réseau intelligent à grande échelle.....	31
2.1 Détermination de la charge de signalisation dans un RI	31
2.2 Analyse de la charge de signalisation.....	35
2.2.1 Plan de l'étude	36

2.2.2	Déplacement des SSP	37
2.2.3	Introduction de nouveaux SSP	38
2.3	Minimisation de nombre de liens de signalisation	39
2.3.1	Application 1	41
2.3.2	Application 2	43
2.4	Conclusion	45
Chapitre 3. Réseau hétérogène: Algorithmes de handover et stratégies de sélection .		47
3.1	Procédures de handover	47
3.1.1	Collecte de l'information et initiation de handover	48
3.1.2	Décision de handover et sélection d'un réseau	48
3.1.3	Exécution du handover	48
3.2	Contrôle de handover	49
3.2.1	Handover contrôlé par le mobile (MCHO)	49
3.2.2	Handover contrôlé par le réseau (NCHO)	49
3.2.3	Handover assisté par le mobile (MAHO)	49
3.2.4	Handover assisté par le réseau (NAHO)	50
3.3	Stratégies de sélection du réseau	50
3.3.1	Stratégies basées sur une seule métrique de choix	51
3.3.2	Stratégies basées sur la fonction de coût (ou d'utilité)	52
3.3.3	Stratégies basées sur la logique floue (fuzzy logic)	53
3.3.4	Stratégies basées sur les réseaux de neurones artificiels	55
3.4	Exemple de choix basé sur la fonction d'utilité	56
3.4.1	Fonction d'utilité de l'énergie	57
3.4.2	Fonction d'utilité de la puissance du signal reçu	58
3.4.3	Fonction d'utilité de la bande passante	59
3.5	Paramètres d'évaluation des performances	64
3.5.1	Le retard	64
3.5.2	Nombre de handovers	64
3.5.3	Débit binaire	65
3.5.4	Taux d'erreurs binaires	65
3.5.5	La qualité de connexion des appels	65
3.5.6	Probabilités de blocage des appels	65
3.5.7	Probabilité de défaillance des appels (dropping)	66
3.6	Conclusion	66
Chapitre 4. Stratégie de sélection basée sur le SINR et spécifications du système		67
4.1	Introduction	67

4.2	Modèle de système	68
4.3	Stratégie de sélection basée sur le SINR	70
4.4	Modèles de mobilité	72
4.4.1	Modèle de mobilité 2D Fluid Flow	72
4.4.2	Modèle de mobilité (Random WayPoint)	74
4.5	Taux moyen de demandes d'accès aux services	76
4.6	Taux moyen de demandes de handovers horizontal et vertical	76
4.7	Technologies d'accès disponibles	78
4.7.1	Allocation de ressources en LTE	79
4.7.2	Multicast et Broadcast sur LTE.....	80
4.8	Modèle de Markov	82
4.8.1	États et événements du système	82
4.8.2	Analyse des performances du système.....	89
4.9	Conclusion	92
Chapitre 5.	Analyse des performances	93
5.1	Paramètres et scénarios de simulations	93
5.2	Comparaison des différentes stratégies	95
5.2.1	Calcul du SINR moyen reçu du réseau $N1$ dans la zone $A2$ ($SINR1_{avg}$)	96
5.2.2	Probabilités de blocage et qualité de connexion des appels.....	98
5.3	Comparaison des différentes cellules $A1$ couvrant le cluster	101
5.4	Analyse des performances selon le taux d'accès au service $S3$	102
5.5	Allocation de PRBs aux services $S1$ et $S2$	104
5.6	Conclusion	105
	Conclusion générale.....	107
	Annexes.....	111
	Bibliographie.....	115

Liste des figures

Figure 1.1 - Modèle conceptuel du réseau intelligent.	7
Figure 1.2 - Architecture physique simplifiée du réseau intelligent.....	8
Figure 1.3 - Evolution des systèmes de communication sans fil et mobiles [32].....	15
Figure 1.4 - Architecture de réseaux hétérogènes.	20
Figure 1.5 - Flux de signalisation pour l'accès au réseau non-3GPP via ANDSF [43].....	22
Figure 1.6 - Architecture du système évolué 3GPP [47].....	23
Figure 1.7 - Architecture du terminal dans un environnement hétérogène [49].....	24
Figure 1.8 - Environnement de réseaux hétérogènes sans fil [50].....	25
Figure 2.1 - Configuration générale d'un RI à grande échelle.	32
Figure 2.2 - Configuration réelle d'un RI à grande échelle.....	35
Figure 2.3 - Charge quotidienne de signalisation.	37
Figure 2.4 - Introduction de nouveaux SSP.....	38
Figure 2.5 - Distribution du trafic au sein d'un RI à grande échelle.	39
Figure 2.6 - Charge quotidienne de signalisation.	42
Figure 2.7 - Exemple de distribution du trafic sur les points SSP.....	44
Figure 3.1 - Environnement du réseau hétérogène sans fil.....	51
Figure 3.2 - Décision de handover basée sur la logique floue (fuzzy logic).	54
Figure 3.3 – Simulation 1 : valeurs d'utilité et choix du réseau.	62
Figure 3.4 – Simulation 2 : valeurs d'utilité et choix du réseau.	63
Figure 4.1 - Zone de service couvert par plusieurs types de réseaux.	69
Figure 4.2 - Schéma représentant la stratégie de sélection.....	71
Figure 4.3 - Types de handover dans le cluster.	77
Figure 4.4 - Cellule A1 couverte par plusieurs réseaux hétérogènes.....	82
Figure 4.5 - Diagramme de transition d'états.....	88
Figure 5.1 - Cluster A couvert par sept cellules A1.....	94
Figure 5.2 - Comparaison des différentes stratégies.....	96
Figure 5.3 - SINR moyen reçu du réseau N1 dans la zone A2.....	97
Figure 5.4 - Gain de SINR (en dB) par rapport à la stratégie TBNS.....	98
Figure 5.5 - Probabilité de blocage dans la zone A5.	99
Figure 5.6 - Probabilité de blocage dans la zone A2.	99
Figure 5.7 - Probabilité de blocage dans la cellule totale A1.	100
Figure 5.8 - SINR moyen reçu du réseau N1 dans la zone A2.....	100

Figure 5.9 - Mobilité : Probabilité de blocage dans la cellule totale $A1$	101
Figure 5.10 - Mobilité : SINR moyen reçu du réseau $N1$ dans la zone $A2$	102
Figure 5.11 - Multicast : Probabilité de blocage dans la cellule totale $A1$	103
Figure 5.12 - Multicast : SINR moyen reçu du réseau $N1$ dans la zone $A2$	103
Figure 5.13 - Unicast : Probabilité de blocage dans la cellule totale $A1$	104
Figure 5.14 - Unicast : SINR moyen reçu du réseau $N1$ dans la zone $A2$	105

Liste des tableaux

Tableau 1.1 - Opérations du protocole de signalisation INAP	10
Tableau 1.2 - Paramètres choisis pour chaque bande passante dans la norme LTE.	19
Tableau 2.1 - Les intensités des appels aux services intelligents [30].	36
Tableau 2.2 - Les charges de signalisation des services intelligents [30].	36
Tableau 2.3 - Les heures de pointe des services intelligents.	36
Tableau 2.4 - Charge maximale et nombre de liens.	37
Tableau 2.5 - Les pourcentages de distribution pour la configuration optimale.	42
Tableau 2.6 - Charge maximale et nombre de liens de signalisation	44
Tableau 3.1 - Paramètres de réseaux disponibles.	60
Tableau 4.1 - Paramètres du système hétérogène.	70
Tableau 4.2 - Paramètres choisis pour chaque bande passante dans la norme LTE.	79
Tableau 4.3 - Niveaux de MCS en LTE dans la voie descendante [101].	80
Tableau 5.1 - Paramètres des réseaux disponibles.	95

Liste des abréviations

3GPP	Third Generation Partners Project
3GPP2	Third Generation Partners Project 2
AG	Access Gateway
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ANDSF	Access Network Discovery and Selection Function
AP	Access Point
BLER	Block Error Rate
BS	Base Station
CAMEL	Customized Applications for Mobile Enhanced Logic
CAP	CAMEL Application Part
CDMA	Code Division Multiple Access
CS	Call Server
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CUG	Closed User Group
D-AMPS	Digital Advanced Mobile Phone System
DFP	Distributed Functional Plan
DNS	Domain Name System
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ECSD	Enhanced Circuit Switched Data
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EGPRS	Enhanced General Packet Radio Services
E-MBMS	Enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service
ENUM	telephony NUMbering Mapping
EPC	Evolved packet core
EV-DO	Evolution- Data Optimized
EV-DV	Evolution- Data and Voice
FDD	Frequency Division Duplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum

FPH	FreePHone
FTP	File Transfer Protocol
GFP	Global Functional Plan
GMT	Greenwich Mean Time
GPRS	General Packet Radio Services
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High Speed Downlink Packet Accessnte
HSUPA	High Speed Uplink Packet Accessnte
IN	Intelligent Network
INAP	Intelligent Network Application Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISMP	Inter-System Mobility Policy
ISRP	Inter-System Routing Policy
LE	Local Exchange
l'ETSI	European Telecommubnication Standards Institute
LTE	Long Term Evolution
MAHO	Mobile-Assisted HandOver
MAS	Mass Calling
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service
MBSFN	Multimedia Broadcast Single Frequency Network
MCHO	Mobile-Controlled HandOver
MCS	Modulation and Coding Scheme
MG	Media Gateway
MGC	Media Gateway Control
MIH	Media Independent Handoff
MIMO	Multiple-Input/Multiple-Output
MT	Mobile Terminal
NAHO	Mobile-Assisted HandOver
NCHO	Network-Controlled HandOver
NGN	Next Generation Network
NMT	Nordic Mobile Telephone
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PDC	Personal Digital Communication
PP	Physical Plan
PRB	Physical Resource Block
PRM	PReMium Rate

PSTN	Public switched telephone network
QoS	Quality of service
RI	réseau intelligent
RNIS	Réseau numérique à intégration de services
RPGM	Reference Point Group Model
RSNS	Received Signal Strength Network Selection
RSS	Received Signal Strength
RWP	Random WayPoint
RTT	Radio Transmission Technology
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier - Frequency Division Multiple Access
SCP	Service Control Point
SDMA	Space Division Multiple Access
SDP	Service data point
SG	Signaling Gateway
SIB	Service Independent Building Block
SINR	Signal to Interference-plus-Noise Ratio
SINS	SINR-based Network Selection
SIP	Session Initiation Protocol
SMS	Short Message Service
SMP	Service management point
SNR	Signal to Noise Ratio
SOAP	Simple Object Access Protocol
SOFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access
SP	Service Plan
SS7	Signaling System number 7
SSP	Service Switching Point
TACS	Total Access Communication System
TBNS	Traffic Balanced Network Selection
TDD	Time Division Duplexing
TDMA	Time Division Code Multiple Access
TD-SCDMA	Time Division Synchronous Code Division Multiple Access
TEB	Taux d'erreurs binaires
TRIP	Telephony Routing Over IP
UAN	Universal Access Number
UDP	User Datagram Protocol
UIT	Union International de Télécommunication

UMB	Ultra Mobile Broadband
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
VCC	Virtual Card Calling
VHO	Verticale HandOver
VOT	Televoting
VPN	Virtual private network
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	World wide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
XML	eXtensible Markup Language

Introduction

Les télécommunications recouvrent toutes les techniques de transfert d'information quelle qu'en soit la nature. Aujourd'hui, le domaine des télécommunications et des réseaux est en pleine effervescence, chaque mois qui s'écoule apporte son lot de nouvelles offres et de nouvelles propositions de normes.

Les demandes croissantes des nouveaux services ainsi que leurs créations ont été le but pour définir une architecture de réseau flexible à toute modification avec un coût minimum. Le principe de **réseau intelligent** a pris sa place dans le domaine des télécommunications afin d'atteindre cet objectif. L'idée est de séparer le contrôle de services de la commutation de services ce qui permet aux opérateurs de créer, d'ajouter et de modifier tout simplement les services du réseau sans avoir à modifier son architecture. En général, l'implémentation des équipements du réseau intelligent à grande échelle est un point crucial pour le bon fonctionnement du réseau. Nous nous intéressons dans la première partie de notre travail à analyser la meilleure distribution des équipements du réseau intelligent ainsi que la redistribution du trafic à ces équipements afin d'assurer le fonctionnement idéal de ce réseau avec le coût le plus bas possible. Un nouvel algorithme est proposé afin d'atteindre cet objectif.

Dans la deuxième partie de la thèse, nous nous intéressons aux réseaux mobiles et sans fil. L'évolution des réseaux mobiles et sans fil est passé par plusieurs étapes et plusieurs technologies d'accès. L'intégration de ces technologies définit le terme de **réseaux hétérogènes** où des accès de différentes technologies sont disponibles pour atteindre les services de réseau. Dans cet environnement, l'utilisateur peut choisir le réseau le plus adapté pour effectuer sa communication. Le choix de réseau est soumis aux politiques de fournisseurs ainsi que les préférences appropriées des utilisateurs. Dans notre travail, nous nous intéressons à proposer une technique de choix de réseau basée sur la valeur reçue de SINR (Signal to Interference-plus-Noise Ratio) au niveau du récepteur et analyser les performances des systèmes qui considèrent cette stratégie en termes de probabilités de blocage des nouveaux appels, de probabilités de blocage des appels de handover horizontal et vertical, ainsi que de qualité de connexion. De plus, nous analysons à l'aide de cette stratégie les influences de mobilité des utilisateurs, de l'allocation de ressources des réseaux disponibles aux services Multicast ou d'allocation de ressources aux services Unicast avec des exigences différentes sur les performances de système. Nos études sont réalisés avec objectif d'anticiper à l'aide d'outils de simulation les caractéristiques de la

stratégie de sélection basée sur le SINR en comparaison avec d'autres stratégies analysées dans la littérature.

Nous organisons notre travail en cinq chapitres. Le premier a pour objectif de présenter le contexte de l'étude. Nous présentons des définitions des réseaux intelligents et hétérogènes et montrons leur évolution ainsi que leurs objectifs principaux. Les modèles de mobilité suivis par des utilisateurs dans une zone de service de système cellulaire avec leurs caractéristiques principales sont aussi présentées dans ce chapitre.

Le deuxième chapitre est dédié pour analyser les réseaux intelligents à grande échelle. Dans ce chapitre, nous présentons les étapes nécessaires pour introduire un service à un abonné dans un réseau intelligent ainsi que la méthode de calcul de la charge et le nombre requis de liens de signalisation. Ensuite, nous étudions l'influence du déplacement des commutateurs SSP (Service Switching Point) ou l'addition des nouveaux commutateurs sur la charge maximale. De plus, nous analysons l'influence de redistribution du trafic du réseau sur les points de commutation de services. Finalement, nous proposons un algorithme de distribution optimale assurant le bon fonctionnement du réseau intelligent avec le minimum nombre de liens requis pour la signalisation. Nous présentons deux exemples de distribution du trafic pour montrer l'efficacité de l'algorithme proposé.

Le troisième chapitre représente la première étape dans la partie destinée à l'étude des réseaux hétérogènes. Nous présentons les techniques de sélection de réseau existantes en littérature dans un environnement hétérogène. Nous nous intéressons à détailler les techniques de sélection basées sur l'approche de la fonction d'utilité. La fonction d'utilité est une fonction qui combine les caractéristiques des technologies d'accès disponibles avec les préférences de l'utilisateur. Les résultats obtenus à partir de la fonction d'utilité permettent de déterminer le réseau désiré. De plus, nous montrons un exemple qui détaille comment un utilisateur choisit et se connecte à plusieurs réseaux durant son déplacement suivant le type d'application, ses propres préférences et les caractéristiques des réseaux disponibles.

Les deux derniers chapitres présentent les spécifications de système hétérogène considéré ainsi que l'évaluation des performances. Dans le quatrième chapitre, on propose de se baser sur le SINR pour définir une stratégie de sélection entre les réseaux. Nous adoptons deux différents modèles de mobilité largement utilisés dans le domaine des télécommunications sans fil et mobiles pour simuler les déplacements des utilisateurs. Le modèle 2D-Fluid flow est souvent utilisé pour représenter les caractéristiques de circulation sur l'autoroute et d'autres situations similaires avec un flux constant de terminaux mobiles. En revanche, le modèle Random WayPoint (RWP) est mieux adapté pour décrire les mouvements individuels des utilisateurs qui comprennent des arrêts, des départs et d'autres actions liées à l'itinérance d'un individu dans la ville. De plus, plusieurs types de services avec des exigences et contraintes variées sont étudiées dans la zone de service. En outre, afin d'analyser les performances du système hétérogène à chaque instant, on propose de le modéliser avec la chaîne de Markov. Celle-ci nous permet d'évaluer le contexte, l'état du système et toutes les transitions possibles. Ensuite, nous analysons les performances du système étudié en termes de probabilité de blocage des appels, de

probabilités de blocage des handovers vertical et horizontal ainsi que de qualité de connexion des appels. Nos études dans ce chapitre sont faites pour un cluster couvert par plusieurs cellules homogènes et chacune de ces cellules est assurée par plusieurs technologies d'accès (réseaux hétérogènes).

Dans le cinquième chapitre, nous présentons à l'aide de simulations plusieurs résultats liés aux réseaux hétérogènes. Nous étudions tout d'abord les performances de la stratégie de sélection basée sur le SINR en termes de qualité de connexion des appels en plus de leurs probabilités de blocage et comparons ces résultats obtenus avec d'autres stratégies étudiées dans la littérature. De plus, nous analysons l'effet de type de mobilité sur les performances de système. En outre, nous analysons plusieurs approches liées à l'allocation de ressources du système LTE (Long Term Evolution). Premièrement, nous analysons l'effet de l'allocation d'une partie des ressources du spectre LTE pour des services Multicast et sa relation avec le taux de demandes d'accès à ces services dans la zone de service. Deuxièmement, nous analysons l'allocation des ressources LTE aux utilisateurs selon différentes contraintes en termes des débits binaires et des niveaux de QoS (Quality of service) requis.

Finalement, une conclusion est présentée pour souligner les résultats obtenus dans le cadre de notre travail de la thèse. Nous signalons nos contributions dans les deux parties de la thèse en analysant les deux types de réseaux, intelligent et hétérogène.

Publications, communications et posters

Publications internationales

- A. Jabban, Y. Nasser, and M. Hélar, « Optimization of the Number of Signaling Links in Intelligent Large-Scale Networks », in *Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6883, p. 116-125, 2011.
- A. Jabban, Y. Nasser et M. Hélar, « On The Performance Analysis and Evaluation of Heterogeneous Networks HandOver Based on SINR Selection Strategy », *submitted to IEEE transactions on Wireless Communications*.

Communications internationales

- A. Jabban, Y. Nasser, and M. Hélar, « SINR Based Network Selection Strategy in Integrated Heterogeneous Networks », in *Proceeding of the International Conference on Telecommunication (ICT2012)*, (Jounieh, Lebanon), p. 1-6, April 2012.
- A. Jabban, Y. Nasser, and M. Hélar, « Performance Analysis of Heterogeneous Networks Based on SINR Selection Strategy », in *Proceeding of the International Conference on Telecommunication (ICT2013)*, (Casablanca, Morocco), May 2013.

Posters nationales

- A. Jabban, Y. Nasser, and M. Hélar, « Optimisation des nombres de liens de signalisation dans les réseaux intelligents à grande échelle », in *Journée des doctorants IETR 2011 (JDD 2011)*, Supélec, (Rennes, France), 14 Juin 2011.
- A. Jabban, Y. Nasser, and M. Hélar, « La stratégie de selection basée sur la valeur reçue de SINR dans le domaine de réseaux hétérogènes », in *Journée des doctorants IETR 2012 (JDD 2012)*, Supélec, (Rennes, France), 14 Juin 2012.
- A. Jabban, Y. Nasser, and M. Hélar, « SINR Based Network Selection Strategy in Integrated Heterogeneous Networks », in *3è Journée Scientifique des Jeunes Chercheurs*, INSA, (Rennes, France), 21 Juin 2012.

Chapitre 1

Réseaux intelligents et hétérogènes

Ce premier chapitre divisé en deux parties a pour but de présenter le contexte de l'étude dans cette thèse. La première partie est consacrée à décrire le réseau intelligent (RI), sa définition et ses objectifs. Ainsi, après quelques informations sur le modèle conceptuel et les composants principaux d'un réseau intelligent, nous mentionnons les normes internationales des réseaux intelligents dans les domaines fixe et mobile. L'évolution du réseau intelligent et les thèmes de recherche soulevés autour, sont également présentés. La seconde partie traite la caractérisation des réseaux hétérogènes. Après une brève introduction de l'évolution des technologies des systèmes sans fil et mobile, nous mettons en évidence les caractéristiques des réseaux hétérogènes lorsque plusieurs technologies d'accès sont disponibles au niveau des utilisateurs. Les critères de sélection de technologies d'accès dans un environnement hétérogène ainsi que les modèles de mobilité sont également introduits.

1.1 Réseaux intelligents

1.1.1 Définition du réseau intelligent

Le terme réseau intelligent (RI) est initialement défini comme une architecture qui peut être installée dans tous les types de réseaux de télécommunications, tels que le réseau téléphonique commuté, le réseau numérique à intégration de services, les réseaux de données, ou encore les réseaux mobiles [1]. Ce réseau permet de faciliter l'introduction de nouveaux services en se basant sur plus de flexibilité et de nouvelles fonctionnalités. Du fait de la capacité de ce réseau à traiter des informations et à offrir des services plus évolués que l'appel de base, il est qualifié "d'intelligent" [2].

1.1.2 Objectifs du réseau intelligent

Les objectifs principaux attendus du réseau intelligent sont :

- Une capacité élevée à introduire des nouveaux services et à modifier facilement.
- Des délais et des coûts réduits de développement.

- De nouvelles fonctions introduites au sein du réseau afin de permettre à chaque utilisateur de gérer personnellement ses données.

1.1.3 Un peu d'histoire (Architecture du réseau intelligent)

Le réseau téléphonique traditionnel est constitué d'un ensemble d'outils qui permet de réaliser une communication téléphonique basique entre deux abonnés. Avec le temps, les besoins pour de nouveaux services plus complexes que l'appel de base sont devenus une nécessité. Pour introduire de nouveaux services au sein du réseau téléphonique traditionnel, l'opérateur doit effectuer des modifications à tous les matériels qui construisent l'architecture du réseau et inclure ces services dans tous les commutateurs existants dans le réseau. Cette opération nécessite une durée du temps qui peut atteindre quelques années pour chaque service. De plus, le coût de développement est très important. Le principe du réseau intelligent a été initialement conçu afin d'éviter ces problèmes. Avec la technologie du RI, il est possible d'introduire rapidement de nouveaux services sans affecter les services disponibles ou les commutateurs mis en œuvre. L'idée principale du réseau intelligent est de séparer le contrôle de services de la commutation de services ce qui permet de faciliter l'introduction de nouveaux services en se basant sur plus de flexibilité. En conséquence, pour introduire de nouveaux services, il est suffisant de définir ces services dans un petit ensemble de nœuds de réseau.

La première conception du réseau intelligent a été envisagée par Bellcore en 1989 aux États-Unis. Après, l'Union Internationale de Télécommunications (UIT) a présenté dans la recommandation Q1201 [3] un modèle d'architecture normalisée du réseau intelligent composée de quatre plans. Ce modèle d'architecture est appelé le modèle conceptuel du réseau intelligent. Comme le montre la figure 1.1, ce modèle se divise en quatre plans et chacun de ces plans correspond à une abstraction différente du réseau. Il concerne le plan de service (SP, Service Plan), le plan fonctionnel global (GFP, Global Functional Plan), le plan fonctionnel réparti (DFP, Distributed Functional Plan) et le plan physique (PP, Physical Plan). Les trois premiers plans sont consacrés à décrire les services offerts aux utilisateurs et leurs constructions et exécutions à partir des blocs de construction indépendants (SIB, Service Independent Building Block). Le dernier plan modélise les aspects physiques du réseau intelligent. Il identifie les différentes entités physiques et les protocoles qui existent dans le réseau intelligent réel. Ce plan spécifie les points principaux du réseau intelligent qui doivent être installés afin d'avoir une architecture capable d'introduire et de gérer des services du réseau.

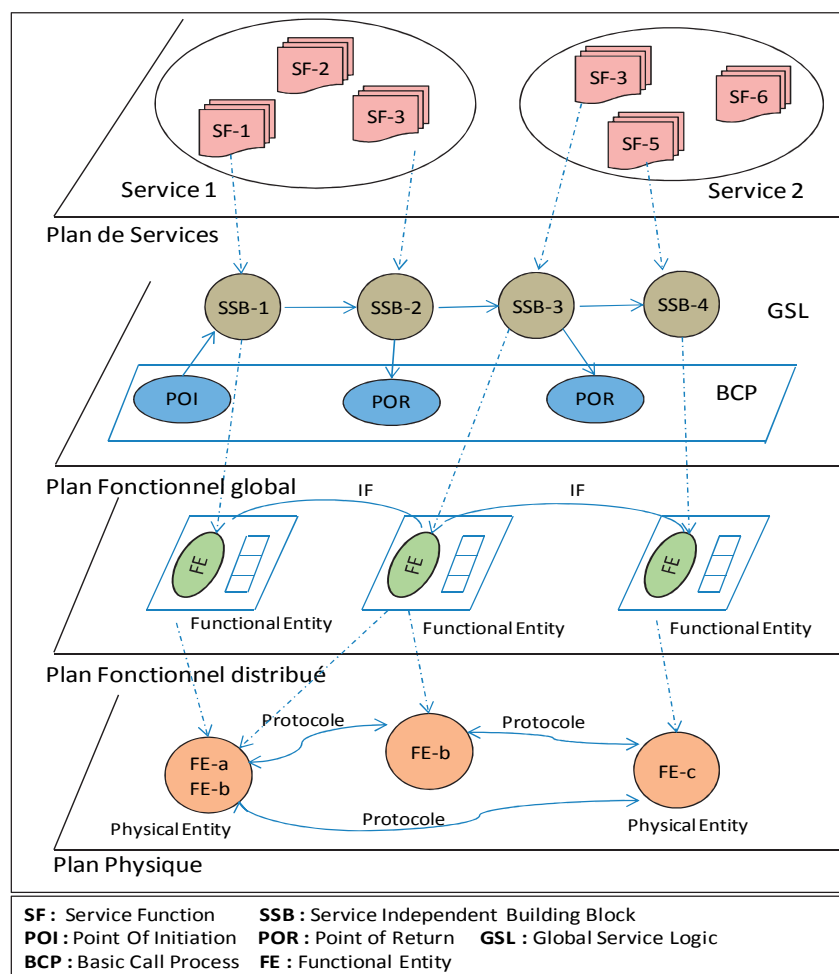


Figure 1.1 - Modèle conceptuel du réseau intelligent.

Les composants principaux d'un RI sont illustrés sur la figure 1.2 et concernent le point de données de service (SDP, Service data point), le point de gestion de service (SMP, Service management point), le point de commutation de service (SSP, Service Switching Point) et le point de commande de service (SCP, Service Control Point). Le SDP est une base de données contenant toutes les informations des utilisateurs et des services. Le SMP est responsable de configurer et gérer les services du réseau. Le SCP est une ressource centralisée, comprenant la logique d'exécution du service. Il est le serveur responsable de la configuration et gestion des services de réseau intelligent. C'est une machine temps réel à très haute disponibilité, qui accède à des données et télécommande les commutateurs SSPs. Le SSP est un commutateur qui effectue toutes les fonctions de commutation nécessaires et fournit l'accès aux capacités de réseau intelligent (Commutateur traditionnel enrichi de nouvelles fonctionnalités qui lui permettent de passer le contrôle de toutes les demandes de services à SCP). Il est responsable de la détection des appels contenant une demande de service de réseau intelligent et du déclenchement du service demandé. Donc, le SSP peut être identifié comme un centre de commutation numérique qui détecte les demandes de services intelligents et communique avec le SCP via le réseau de

signalisation (Signaling System number 7, SS7) pour obtenir des informations sur la connexion à créer. L'ensemble des commandes et des réponses utilisées entre SCP et SSP est décrit par le protocole de signalisation INAP (Intelligent Network Application Protocol).

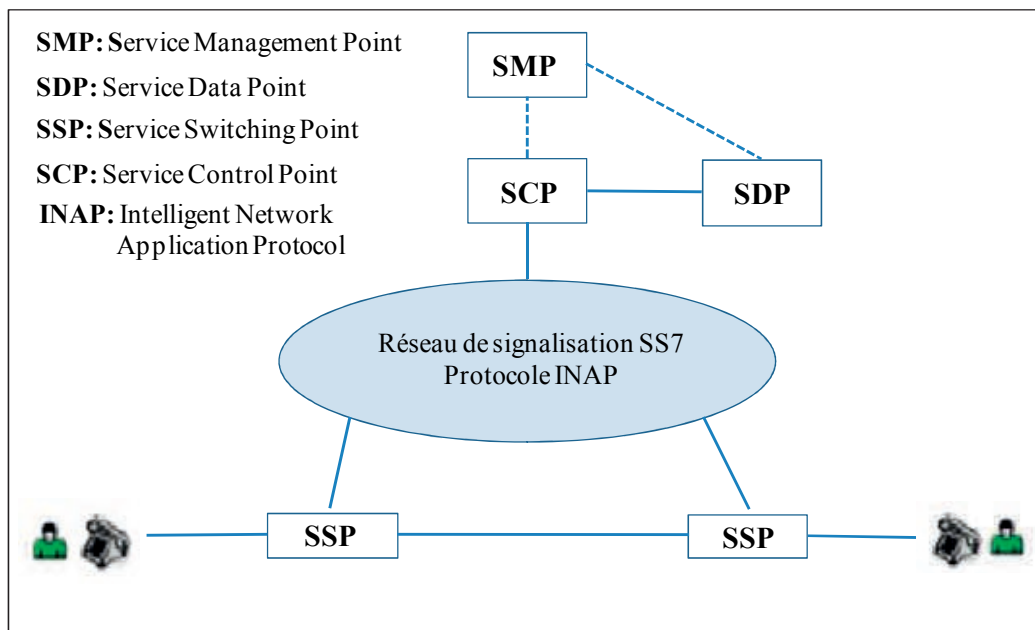


Figure 1.2 - Architecture physique simplifiée du réseau intelligent.

Grâce au principe du réseau intelligent, l'introduction de nouveaux services, ou la modification des services existants peuvent être effectuées rapidement, sans besoin d'adapter les logiciels des commutateurs SSP (seuls les paramètres de déclenchement seront mis à jour). L'adaptation sera limitée aux serveurs SCP.

1.1.4 Normes internationales des réseaux intelligents

En se basant sur le modèle conceptuel, deux standards internationaux ont été chargés de définir et normaliser les services du réseau intelligent dans le domaine fixe et mobile. Le premier concerne les versions définies par l'Union Internationale de Télécommunications et désignées par des ensembles de capacité (Capability Set, CS). Le deuxième est le forum de standardisation ETSI (European Telecommunication Standards Institute). La première gamme de services du réseau intelligent a été présentée par l'union internationale de télécommunications (Capability Set 1, CS-1) dans les recommandations Q.1210-Q.1219 en 1993 et assignée aux réseaux téléphoniques fixes [4]. La signalisation entre les points intelligents pour introduire de ces services est assurée par le protocole INAP. Cette gamme de services est formée de 24 services de type A qui ne peuvent pas être actifs qu'à une seule extrémité d'une connexion et ne peuvent pas être gérés que par un seul point de commande [5]. Cela veut dire que le service ne concerne qu'une seule des deux parties impliquées d'un appel et qu'il est entièrement indépendant des services qui pourraient être

actifs à d'autres extrémités de la connexion. Des exemples de services présentés par l'UIT dans la première version sont : le service Freephone (FPH), le service Televoting (VOT), Mass Calling (MAS), Universal Access Number (UAN), PReMium Rate (PRM), Closed User Group (CUG) et Virtual Card Calling (VCC). Dans le but de l'exploitation de ces services en Europe, ETSI a défini un sous-ensemble pragmatique qui pourrait être utilisé comme une base pour l'installation du RI en Europe. Ce travail a été achevé en 1994 et a été appelé ETSI Core INAP. Il a ensuite été adopté par l'UIT-T et publié en tant qu'une norme internationale en 1995 sous le titre CS-1R. Trois autres gammes de services ont été normalisées par l'UIT (CS-2, CS-3 et CS-4) afin d'introduire d'autres types de services comme les services de gestion, de création de service, d'interfonctionnement de réseau, et de mobilité [6].

L'introduction des approches des réseaux intelligents aux réseaux mobiles a été assurée par l'ETSI. La motivation principale était l'introduction du service de téléphone mobile "prépayé". L'ETSI s'est basé sur les expériences des normes du réseau intelligent fixe mais il a aussi introduit un certain nombre de fonctionnalités spécifiques aux réseaux mobiles, rendant la technologie définie légèrement différente de celle du réseau intelligent sur le réseau fixe. Pour cette raison, l'ETSI a dénommé la stratégie du RI dans les réseaux mobiles CAMEL (Customized Applications for Mobile Enhanced Logic). Le protocole de signalisation INAP a été modifié en CAP (CAMEL Application Protocol). La première version du réseau intelligent mobile a présenté le service prépayé (75 % des abonnés mobiles utilisent ce service). Trois autres versions ont été présentées par l'ETSI pour introduire de nouveaux services et surtout les services introduits sur les réseaux intelligents fixes. On doit noter que les deux premières versions de CAMEL ont été mises en œuvre pour le réseau GSM (Global System for Mobile Communications). Deux autres versions de CAMEL ont été introduites ensuite par le 3GPP pour les réseaux GPRS (General Packet Radio Services) et UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) [7]. La phase 4 est la dernière version de CAMEL, mais cette version est extensible pour toutes les améliorations.

1.1.5 Le protocole de signalisation INAP

Le protocole de signalisation INAP décrit les séries des opérations et commandes réalisées afin d'introduire un service intelligent à un abonné. Pour atteindre cet objectif, 55 opérations ont été définies dans la recommandation Q.1214 de l'ITU. Ces opérations sont invoqués selon le service requis et échangés entre les points de réseau intelligent afin d'introduire le service demandé. Bien que la norme définie par l'ITU est toujours la référence pour la signalisation au sein de RI, l'ETSI a également considéré un protocole spécifique extrait du protocole INAP et largement utilisé en Europe. Ce protocole est étroitement liée à l'UIT-T Q.1214 où plusieurs opérations sont remplacées. Il est plus connu au niveau mondial et s'est avéré d'être une base très populaire pour la signalisation au RI à ce jour. Il considère 29 opérations permettant d'effectuer cinq principales démarches cruciales pour créer et gérer une communication dans le RI : le débranchement

du service normal, les appels vers des destinations finales, la connexion à des serveurs vocaux, la mise en place des taxations et finalement le contrôle de service. Le tableau 1.1 montre l'ensemble de ces opérations et spécifie les opérations utilisées par l'ETSI ainsi que l'ITU .

Tableau 01.1 - Opérations du protocole de signalisation INAP

Operations ETSI Core INAP		Operations incluses à l'ITU-T et exclues de l'ETSI Core INAP
1	ActivateServiceFiltering	analysedInformation
2	ActivityTest	analyseInformation
3	ApplyCharging	CollectedInformation
4	ApplyChargingReport	CancelStatusReportRequest
5	AssistRequestInstructions	HoldCallInNetwork
6	CallGap	OAnswer
7	CallInformationReport	OCalledPartyBusy
8	CallInformationRequest	ODisconnect
9	Cancel	OMidCall
10	CollectInformation	ONoAnswer
11	Connect	OriginationAttemptAuthorized
12	ConnectToResource	RequestCurrentStatusReport
13	Continue	RequestEveryStatusChangeReport
14	DisconnectForwardConnection	RequestFirstStatusMatchReport
15	EstablishTemporaryConnection	RouteSelectFailure
16	EventNotificationCharging	SelectFacility
17	EventReportBCSM	SelectRoute
18	FurnishChargingInformation	StatusReport
19	InitialDP	TAnswer
20	InitiateCallAttempt	TCalledPartyBusy
21	PlayAnnouncement	TDisconnect
22	PromptAndCollectUserInformation	TMidCall
23	ReleaseCall	TNoAnswer
24	RequestNotificationChargingEvent	Query
25	RequestReportBCSMEvent	SdfResponse
26	ResetTimer	UpdateData
27	SendChargingInformation	
28	ServiceFilteringResponse	
29	SpecialisedResourceReport	

Les démarches principales pour une communication d'un service intelligent peuvent être montrées comme suit :

Lorsqu'une demande d'accès à un service intelligent arrive à un commutateur SSP, celui-ci envoie une demande pour ce service au point de commande de service SCP. Le SCP demande normalement des informations supplémentaires sur l'utilisateur appelant. Ensuite, le SCP accède à la base de données SDP et valide des fonctions concernant l'authentification et l'autorisation. Après la validation des données de l'utilisateur par le SCP, il demande au commutateur SSP d'établir une connexion vers la partie désirée. Le commutateur SSP informe le serveur SCP de l'évolutions de l'appel par des messages d'événement marquant le début et la fin de la connexion. À la fin de l'appel, le SCP libère les ressources d'appel du SSP. Tous ces messages échangés entre le commutateur SSP et le point de commande SCP sont réalisés selon le protocole INAP. Un scénario de service typique implique 5 à 10 messages INAP entre SSP et SCP [8]. Normalement, chaque point de commande SCP peut gérer plusieurs commutateurs SSP. Le nombre de SSP qui peut être pris en charge par un seul serveur SCP, dépend de la capacité de SCP et de la charge de trafic arrivant aux commutateurs SSPs. De plus et pour éviter de la congestion, les demandes de services arrivant à chaque commutateur SSP peuvent être contrôlées par plusieurs points de commande de services SCP. Donc, les intensités des appels arrivant vers les services intelligents à chaque commutateur aux heures de pointes ainsi que le nombre de services présentés jouent le rôle crucial pour dimensionner le réseau intelligent. Une partie de la recherche dans le domaine du réseau intelligent est destinée à évaluer la charge totale et déterminer le nombre de points intelligents ainsi que le nombre de liens de signalisation qui doivent être implémentés pour servir tous les utilisateurs aux heures de pointes. Notre travail dans le premier chapitre de la thèse s'inscrit sous cette partie de recherche.

1.1.6 Evolution du réseau intelligent et thèmes de recherche

Avec le développement rapide des télécommunications, le rythme de production de nouveaux ensembles de normes n'a pas été aussi rapide que prévu. De plus, l'ouverture du domaine des télécommunications à la concurrence a fait perdre beaucoup d'importance à la normalisation. Il est devenu difficile à des opérateurs devenus concurrents de continuer à développer en commun de nouveaux services. C'est pour cela que les opérateurs ont commencé à améliorer leurs environnements spécifiques, à créer de nouvelles fonctionnalités et à les implémenter. En outre, il faut bien noter que les normes déjà présentées ont défini et normalisé un grand nombre de services pendant leurs phases d'évolution. Beaucoup de ces services ne sont pas encore exploités. De plus, d'autres types de services qui sont très intéressants et ne sont pas normalisés peuvent être améliorés et implémentés facilement en utilisant le principe du réseau intelligent.

Pour cela, plusieurs axes de recherches sont apparus dans le domaine du réseau intelligent. Le premier concerne la création des nouveaux services selon le principe initial du réseau

intelligent (à partir des groupes SIB). Le deuxième s'intéresse à l'évolution des réseaux intelligents vers les nouvelles générations de réseaux NGN (Next Generation Network). Le troisième axe est pour améliorer des niveaux de sécurité des services de réseau intelligent. Le quatrième s'intéresse à analyser les problèmes rencontrés actuellement avec les réseaux intelligents comme le contrôle de la congestion et la répartition des points intelligents et du trafic dans le réseau.

Concernant le premier axe de recherche, on peut signaler [9], [10] et [11]. Les auteurs de [9] ont proposé de définir le service de contrôle de la mobilité dans les réseaux CDMA comme un service du réseau intelligent. Ils ont proposé de déplacer toutes les fonctions de gestion de mobilité au point de commande de service SCP. Puis, ils ont décrit le service de mobilité par un groupe de SIB et présenté un algorithme complet expliquant toutes les démarches réalisées ainsi que la coopération faite entre les points intelligents afin d'introduire ce service. En [10], les auteurs ont proposé le principe du réseau intelligent pour assurer la facturation dans le système 4G. Ils ont divisé ce service en plusieurs sous fonctions dont chacune est construite comme un SIB. Ensuite les auteurs ont présenté les procédures réalisées et les discussions mises en œuvre entre SSP et SCP afin de mettre ce service en place. Une architecture pour le réseau intelligent sans fil de la quatrième génération a été proposée en [11]. Les auteurs ont proposé la mise en place de nouvelles fonctionnalités de réseau intelligent, telles que la gestion de handover et la localisation. Ils ont présenté une description totale à l'architecture du réseau intelligent de la 4G proposée, le travail assigné aux points intelligents SSP et SCP, les étapes de fonctionnement ainsi que les discussions entre les points SSP et SCP afin de réaliser ces services.

Le deuxième axe de recherche dans le domaine du réseau intelligent s'intéresse à l'évolution des réseaux intelligents vers les nouvelles générations de réseaux NGN. Les travaux réalisés dans ce domaine ont deux objectifs : le premier est de permettre aux services du réseau intelligent déjà défini d'être exploités par les utilisateurs IP. Le deuxième a pour objectif d'utiliser d'autres technologies pour la création de service d'une manière plus efficace que celle basée sur les groupes SIB. Le réseau intelligent est largement utilisé dans les réseaux fixes et mobiles, et presque tous les opérateurs ont construit une architecture de réseau intelligent de base sur le réseau d'origine pour fournir le service de carte prépayé, les services de réseau virtuel privé (VPN, Virtual private network) et autres services [12]. Les réseaux de la nouvelle génération (NGN) viennent comme un héritage des réseaux intelligents [13]. Ces réseaux ont été envisagés pour introduire les services multimédia [14]. NGN est un réseau de transmission par paquets développé pour prendre en considération la convergence des services et réseaux de type fixe et mobile [15]. Ces réseaux utilisent le protocole SIP (Session Initiation Protocol) dans le cœur du réseau pour l'établissement, le maintien et la terminaison des sessions (voix/multimédia). Pour assurer l'interconnexion entre les réseaux basés sur l'adresse IP et les réseaux intelligents, plusieurs travaux ont été introduits. Dans [16], les auteurs ont proposé d'utiliser des interfaces ouvertes pour assurer l'échange d'informations tels que : Media Gateway Control (MGC), Call Server (CS), Signaling Gateway (SG), Media

Gateway (MG) et Access Gateway (AG). Ces interfaces permettent de transformer les informations entre les deux types de réseaux. D'autres travaux ont proposé d'intégrer le protocole de signalisation SIP (réseau IP) sur le réseau intelligent. Cette intégration est possible d'après [17], [18], [19] et [20]. Dans [21], les auteurs ont proposé le protocole ENUM (tElephony NUmbering Mapping) comme un protocole de traduction des numéros PSTN (Public switched telephone network) ou E.164 en DNS (Domain Name System) ou l'inverse. Ils ont aussi présenté le protocole TRIP (Telephony Routing Over IP) comme un protocole de routage et de localisation de Gateway. Grâce à ces travaux qui ont conduit à l'intégration de réseaux IP-RI, les services déjà déployés dans le réseau intelligent peuvent être exploités par des clients IP.

D'autres travaux dans le deuxième axe de recherche sont consacrés à l'amélioration de la méthode de création de service. Le modèle conceptuel du RI n'a pas spécifié un langage standard pour la création de service. De plus, la création de service à partir des SIB rend cette opération relativement difficile. Avec l'évolution de l'informatique, d'autres manières de création des services ont été mises en place [22] [23] [24]. Le web services est une nouvelle technique de programmation standard qui permet à des applications distantes de dialoguer via Internet. Les Web services se reposent sur des protocoles tels que http, XML (eXtensible Markup Language) et SOAP (Simple Object Access Protocol). Cette nouvelle approche présente une nouvelle définition des services intelligents par comparaison avec celle du réseau intelligent classique. Les auteurs de [24] ont introduit une technique permettant de la combinaison SIP avec SOAP. Puis, ils ont proposé une méthode permettant de généraliser et de faciliter la technique de la création des services à valeur ajoutée (des services multi-domaine, multi fournisseur via les réseaux fixes ou mobiles). Grâce à cette méthode, la création des services à valeur ajoutée devient plus flexible, plus rapide et indépendante des SIBs standards [24].

Le troisième axe est concentré sur l'amélioration des niveaux de sécurité des services du réseau intelligent. Dans le cadre des réseaux intelligents, trois niveaux de sécurité sont impliqués, la sécurisation du service demandé, la sécurisation des opérateurs (qui offrent un service) et la sécurisation des données du service. La sécurisation dans le réseau intelligent classique n'est pas suffisante et est limitée à certains mécanismes d'authentification et d'autorisation. La globalisation croissante et la libéralisation du marché des télécommunications, nécessitent des exigences plus évoluées en termes de sécurité de l'information au sein des organisations et des applications. Plusieurs travaux ont été proposés pour améliorer la sécurité au niveau client, des données transmises et des services (opérateurs) dans le réseau intelligent fixe et mobile [25][26][27]. Dans [27], deux techniques de sécurisation ont été proposées : la première technique est relative à la sécurité dans un seul domaine. Cette technique assure trois niveaux de sécurité : le premier est relié à l'authentification du client (concerne la sécurité de la signalisation), le deuxième est relié au contrôle d'accès aux services et le troisième est relié à la sécurité des données propres du service. La deuxième technique est consacrée à la sécurisation entre domaines.

Le quatrième axe de recherche s'intéresse à analyser les problèmes rencontrés actuellement dans les réseaux intelligents comme le contrôle de la congestion et la répartition des points intelligents dans le réseau. On peut signaler les travaux présentés dans [28][29][30]. Pour servir un client, une série de messages sont échangés entre le SSP et le SCP via le réseau de signalisation (SS7, Signaling System number 7) en utilisant un nombre limité de commandes qui est décrit par le protocole de signalisation INAP. Chaque point de commande SCP peut gérer plusieurs commutateurs SSP. Le nombre de SSPs qui peut être pris en charge par un seul SCP dépend de sa capacité et de la charge de trafic arrivant aux SSPs. De plus et pour éviter de la congestion, les demandes de services arrivant à chaque commutateur peuvent être contrôlées par plusieurs points SCP. Dans [28], les auteurs ont développé un algorithme de contrôle de la congestion dans un réseau à large bande (ISDN, Integrated Services Digital Network) dans laquelle les demandes de service sont traitées par les fonctions du réseau intelligent. Ce protocole a permis de protéger le réseau contre les surcharges et maximiser le nombre d'appels admis. Chukarin et al. ont présenté en [29] une méthode pour calculer le volume des équipements de signalisation qui doivent être installés pour assurer un bon fonctionnement du réseau intelligent à grande échelle. Le réseau à grande échelle est le réseau qui couvre une vaste zone géographique. Les utilisateurs de ces réseaux ainsi que leurs équipements sont situés dans des zones de fuseaux horaires différents. La détermination précise de la charge de signalisation entre les points intelligents (SSP et SCP) aux heures de pointes est cruciale pour répondre aux demandes croissantes de service du réseau intelligent. En se basant sur [29], Buzyukova et al. ont étudié en [30] l'influence des configurations du RI à grande échelle sur le volume des équipements de signalisation. Ils ont analysé l'effet de déplacement de point SCP d'une zone temporaire à une autre voisine ou l'addition des points SCP supplémentaires sur la charge totale de signalisation.

Notre travail dans la première partie de la thèse s'inscrit dans cette direction de recherche. Avec les demandes croissantes pour les services des réseaux intelligents, l'introduction des nouveaux commutateurs intelligents SSP dans le réseau sera indispensable. Donc, la répartition de ces commutateurs dans le réseau est très importante et surtout pour le réseau à grande échelle. La répartition correcte des points intelligents ainsi que la distribution du trafic sur ces points assurent un bon fonctionnement du réseau avec un minimum nombre des équipements et des liens de signalisation. Notre travail dans cette partie a deux objectifs : le premier est celui d'analyser l'effet de déplacement, l'addition des nouveaux commutateurs SSP, ou la répartition du trafic sur la charge maximale ou le nombre totale de liens requis. Le deuxième est de proposer un nouvel algorithme permettant la distribution optimale du trafic sur les commutateurs SSP du réseau.

1.2 Réseaux hétérogènes

1.2.1 Evolution des systèmes de communication sans fil et mobiles

Les communications par les réseaux sans fil et mobiles sont au cœur des rapports entre les hommes, quelles que soit les machines dont ils disposent. Ce type de réseaux permet aux terminaux d'être connectés par une interface radio et de se déplacer dans une région déterminée en taille pour les réseaux sans fil ou à l'intérieur du réseau d'un opérateur pour le réseau mobile [31]. Depuis leur création, ces réseaux ont connu de grandes évolutions. Dans la suite, nous présentons brièvement les caractéristiques principales des technologies développées dans les réseaux sans fil et mobile montrant les différents standards existants dans le monde (figure 1.3).

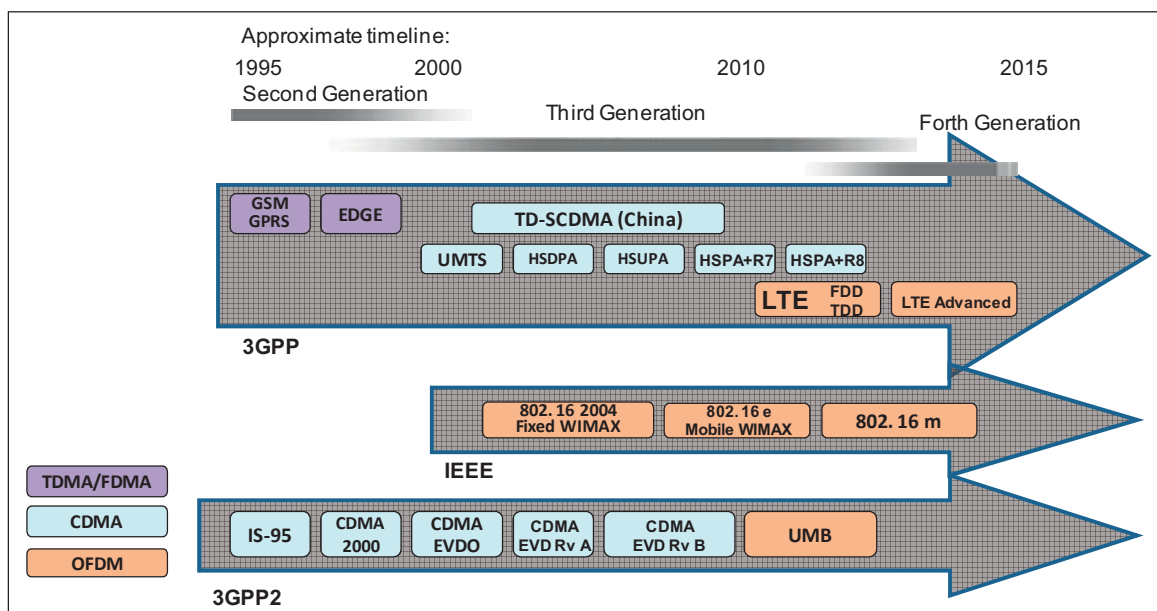


Figure 1.3 - Evolution des systèmes de communication sans fil et mobiles [32].

1.2.1.1 Evolution des systèmes de communication mobiles

Les systèmes de téléphonie cellulaire connaissent un développement sans précédent dans le monde des télécommunications. On peut classer l'évolution des systèmes cellulaires en quatre grandes étapes : la première génération qui a démarré à la fin des années 1970, la deuxième génération qui a fait ses débuts dans les années 1990 et qui continue à se développer, les systèmes de troisième génération dont le premier déploiement a eu lieu en début de ce siècle [33] et enfin, la quatrième génération des systèmes cellulaires avec des services à plus haut débit.

- La première génération des systèmes mobiles a lancé des services commerciaux de téléphonie vocale mobile. Ils ont été exploités en mode de commutation de circuits. Ces systèmes ont la particularité d'utiliser la modulation de fréquence FM, qui est de

type analogique (son analogique) et la technique FDMA (Frequency Division Multiple Access) comme seul et unique mode d'accès multiple. Ils opéraient dans les bandes de fréquences 450 et 900 MHz [34]. Le système AMPS (Advanced Mobile Phone System) était le système de référence aux États-Unis tandis que, l'Europe a connu plusieurs systèmes à partir de Radiocomm2000 en France à NMT900 (Nordic Mobile Telephone) dans les pays nordiques en passant par le système TACS (Total Access Communication System) en Angleterre [33].

- En utilisant la technologie numérique, les systèmes mobiles de 2G ont permis d'augmenter le nombre d'utilisateurs au sein d'une cellule, et ont permis d'obtenir, en association avec un codage de source, une qualité vocale améliorée d'une façon significative [34]. Ces systèmes ont été conçus pour proposer non seulement un service de voix, mais également d'autres services tels que l'envoi de message courts (SMS, Short Message Service), le fax et l'accès à des réseaux haut débit tels que l'internet et le RNIS (Réseau numérique à intégration de services). Le système GSM s'est imposé comme le standard de référence en Europe. Il utilise la technique de multiplexage TDMA (Time Division Code Multiple Access). La version européenne utilise les fréquences de 900 MHz et de 1800 MHz, tandis que la version américaine (GSM PCS 1900) fonctionne sur la bande de 1900 MHz. Depuis sa commercialisation en 1990, le GSM a été amélioré, par l'introduction des standards : HSCSD (High Speech Circuit Switched Data), GPRS (General Packet Radio Services, et EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), ECSD (Enhanced Circuit Switched Data) et EGPRS (Enhanced GPRS). Le standard GPRS est une évolution de la norme GSM, on le qualifie souvent de 2,5 G. Il correspond à une architecture de réseau à commutation de paquets qui permet de n'allouer des ressources à un utilisateur que lorsqu'il a réellement des données à émettre ou à recevoir et non durant toute la durée de sa connexion [31]. Le GPRS utilise un type de codage de canal variable et permet d'allouer à un utilisateur plus d'un intervalle de temps par trame. Cela permet d'accroître la capacité et l'efficacité spectrale du réseau. Le débit maximal que l'on peut obtenir avec le GPRS est de $8 \times 21.4 \text{ Kbps} = 171,2 \text{ Kbps}$. Le standard EDGE est une évolution de la norme GSM, afin d'accroître encore les débits que l'on peut obtenir avec le GPRS. Ce standard offre la possibilité d'appliquer des différents schémas de modulation et de codage canal de manière adaptative, ce qui permet d'atteindre un débit théorique de 473,6 Kbps ($8 \times 59,2 \text{ Kbps}$). EDGE est qualifié souvent de 2,75 G. Aux États-Unis, plusieurs systèmes de deuxième génération ont été développés, IS-54, IS-136 (D-AMPS), IS-95 (CDMA One), et GSM PCS 1900. Au Japon, la norme principale de deuxième génération est appelée PDC (Personal Digital Communication), qui propose des débits de 28,8 kbit/s en mode paquet.
- Avec les systèmes cellulaires de 3G, la transmission de la parole et des données en mode circuit, ainsi qu'en mode paquet sont possibles. Ces systèmes permettent de transmettre les données de manière symétrique et asymétrique. De plus, des débits

plus élevés ont été conçus pour fournir de nouveaux services, comme la visiophonie mobile, et la voix sur IP [34]. En outre, une couverture plus large est possible à l'aide de l'emploi de macro, micro et pico des cellules. Plusieurs technologies d'accès radio basées autour CDMA ont été utilisées dans les standards de troisième génération. L'UMTS est un système cellulaire de troisième génération considéré en Europe. Son architecture est composée essentiellement d'un réseau terrestre d'accès radio, l'UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) et d'un réseau cœur dérivé du GSM. L'UTRAN utilise deux modes d'accès fondés sur la technologie CDMA large bande : l'UTRA/FDD (Frequency Division Duplexing) et l'UTRA/TDD (Time Division Duplexing). En utilisant la technique UTRA/TDD, la transmission et la réception se font sur une même bande de fréquence de largeur 5 MHz à des instants différents, alors qu'en l'UTRA/FDD, on peut transmettre et recevoir simultanément dans une paire de bandes de fréquences différentes, chacune de largeur de 5 MHz. L'UTRA/TDD est mieux adaptée à des trafics asymétriques et à des environnements intérieurs avec une mobilité restreinte. Au contraire, l'UTRA/FDD est plus adapté à des trafics symétriques et des environnements extérieurs. Le système UMTS soutient des débits binaires de 144 Kbps avec un déplacement à grande vitesse (véhicules), 384 Kbps (à moyenne vitesse) et 2 Mbps en réception fixe [34]. Pour améliorer les performances de l'UMTS, deux normes ont été développées : HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) et HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). La norme HSUPA permet aux utilisateurs de transmettre des données avec des débits binaires de 14.4Mbps. Aux États-Unis, plusieurs systèmes de troisième génération ont été développés, le CDMA2000 1xRTT (Radio Transmission Technology), le CDMA2000 EV-DO (Evolution- Data Optimized), et le CDMA2000 EV-DV (Evolution- Data and Voice). En Chine, le standard TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) est le standard de référence de la troisième génération. Il a été proposé par China Communications Standards utilisant le mode TDD et peut fonctionner dans une bande de fréquence de 1,6 MHz à 2Mbps ou d'une bande 5MHz à 6Mbps.

- Avec le système 4G, des débits de données beaucoup plus élevés sont possibles à l'aide des nouvelles technologies de multiplexage et d'antennes. Le système cellulaire LTE (Long Term Evolution) est un exemple de système 4G développé par 3GPP Release 8 pour fournir des débits de données de plus de 100 Mbps pour la liaison descendante et plus de 50 Mbps pour la liaison montante. Elle est basée sur des techniques radios telles que l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) et le MIMO (Multiple-Input/Multiple-Output) qui permettent d'atteindre de très bonnes performances en termes de débit, de latence et de capacité. Grâce aux techniques radios OFDMA et MIMO, le système LTE offre de très hauts débits dépassant les 100Mbps en plus aux bandes passantes allant de 1,4 à 20 MHz [35]. Le LTE emploie deux différents régimes d'accès entre la liaison montante et descendante : l'OFDMA est utilisé dans le sens descendant, tandis que le SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) est utilisé dans le sens montant. Le

SC-FDMA est utilisé en vue du fait que son rapport de puissance crête à moyenne PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) est faible, ce qui permet d'avoir une haute efficacité d'amplification de puissance RF dans les terminaux mobiles [32]. Le LTE-Advanced a récemment signalé des débits théoriques de liaison descendante jusqu'à 326.4 Mbps avec une configuration MIMO 4x4 et la modulation 64-QAM [36]. Un autre système présenté par 3GPP2 (Third Generation Partners Project 2) est considéré comme un exemple de système 4G. L'UMB (Ultra Mobile Broadband) intègre également la technique OFDMA, les techniques d'antennes MIMO et SDMA (Space Division Multiple Access) en but de fournir encore plus de capacité, de couverture et de qualité de service. L'UMB peut soutenir des débits de plus de 280 Mbps sur la liaison descendante (download) et plus de 75 Mbps pour la transmission sur la liaison montante (Upload), avec une configuration MIMO 4x4 [37].

1.2.1.2 Evolution des systèmes de communication sans fil

Le réseau local sans fil est une extension d'un réseau local filaire, permettant de proposer le service de mobilité à l'utilisateur. Plusieurs possibilités sont envisagées pour la réalisation de ces réseaux : soit les communications hertziennes s'effectuent sur l'ensemble du site, soit les communications s'effectuent à l'intérieur de petites cellules reliées entre elles. De plus, selon la taille de la couverture, on distingue plusieurs types de réseau sans fil : les réseaux qui desservent les équipements d'un seul utilisateur WPAN (Wireless Personal Area Network), ceux qui desservent une Entreprise WLAN (Wireless Local Area Network) et ceux qui connectent des utilisateurs sur une distance métropolitaine WMAN (Wireless Metropolitan Area Network). L'évolution des réseaux sans fil est faite en parallèle avec l'évolution de l'Internet dans le but d'accéder aux services Internet avec des débits élevés. Nous présentons ci-dessous les technologies principales des réseaux sans fil.

- WiFi est un ensemble de protocoles de communication sans fil régis par les normes du groupe IEEE 802.11. Le réseau Wifi est normalisé pour fournir une couverture à large bande dans les bâtiments (Indoor). Cette technologie est adoptée plus tard dans un environnement Outdoor pour fournir un accès à haut débit dans les centres-villes ainsi que dans les zones rurales mal servies. Elle a connu beaucoup de succès dans le domaine de télécommunications dû à la facilité de déploiement et de son faible coût par rapport aux autres solutions. La première version de Wifi a considéré deux technologies d'étalement de spectre : 1Mbps FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), 1Mbps et 2Mbps DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). D'autres versions ont été normalisées dans le but d'augmenter le débit de transmission. Avec la norme 802.11b, un débit binaire de 11Mbps est devenu théoriquement possible. Cette norme fonctionne dans la bande 2.4 GHz et considère la technique d'étalement de spectre DSSS. La norme 802.11a a ensuite été conçue pour les applications de bande passante plus élevée que celle présentée par 802.11b. Cette norme fonctionne dans la bande 5GHz et assure un débit maximal de 54Mbps en se basant sur la technologie OFDM. En 2003, la version IEEE 802.11g a fourni un débit plus élevé dans la bande

2.4GHz en conservant la même technologie OFDM utilisée avec 802.11a, mais dans le spectre du 802.11b. Cette norme offre des débits allant jusqu'à 54 Mbps et une compatibilité avec les équipements 802.11b. Les normes 802.11b, 802.11a et 802.11g sont largement utilisées aujourd'hui. La technologie WiFi s'est aussi améliorée pour soutenir des débits plus élevés et simplifier l'interfonctionnement avec les réseaux mobiles (802.11n, 802.11u, 802.11v, 802.11ac,). Par exemple, en 2009, la norme 802.11n a permis d'atteindre des débits binaires jusqu'à 600 Mbps. La norme IEEE802.11n utilise les techniques MIMO et OFDM en plusieurs configurations et fournit des compatibilités avec les systèmes déjà installés. En 2011, la norme 802.11u a été publiée. Cette norme s'appuie sur les capacités du 802.11n et facilite l'interfonctionnement des réseaux WLAN avec les réseaux externes. Cette norme veille à conserver le terminal à être toujours connecté au meilleur réseau possible.

- WiMAX (World wide Interoperability for Microwave Access) est une technologie conçue initialement pour soutenir des applications à large bande dans les domaines fixe et mobile. Le développement de cette technologie est assuré par le groupe 802.16 de l'IEEE. La norme IEEE 802.16e est la version sans fil de WiMAX, il est destiné à fournir des connexions sans fil à hauts débits et longues distances. Elle a été publiée officiellement comme standard IEEE 802.16e en 2005. Cette norme utilise la technologie de multiplexage SOFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access) fournissant des bandes passantes de largeurs entre 1.25MHz et 20 MHz. Le point clé de la norme IEEE 802.16e est l'introduction du service de handover pour les utilisateurs qui se déplacent entre des différentes cellules. En 2011, une autre norme, 802.16m, améliorée de WiMAX a été publiée. Cette norme connue aussi sous Wimax release 2 ou WiMAX-Advanced. En considérant les technologies OFDM et MIMO, cette norme permet atteindre des débits de données jusqu'à 100Mbps pour les utilisateurs mobiles.

Une comparaison entre les technologies LTE, WLAN et WiMax est montrée dans le tableau 1. 2 :

Tableau 1.2 - Paramètres choisis pour chaque bande passante dans la norme LTE.

	IEEE 802.11n	802.16m	LTE
Débit de données (DL)	100 Mbps	350 Mbps	326.4 Mbps
Débit de données (UL)	100 Mbps	200 Mbps	86.4 Mbps
Bande passante (MHz)	20 et 40	5, 10, 20, 40	1.4, 3, 5, 10, 15, 20
Duplexage	TDD	TDD,FDD	TDD,FDD
Multiplexage	CSMA-CA	SOFDMA	OFDMA et SC-FDMA
Mobilité	Low	Medium	High

1.2.2 Définition et objectifs des réseaux hétérogènes

Au cours de l'évolution de réseaux sans fil et mobile, nous pouvons remarquer que plusieurs technologies ont été développées. Chacune a été conçue indépendamment pour soutenir des différents types de données, de couverture ou de mobilité.

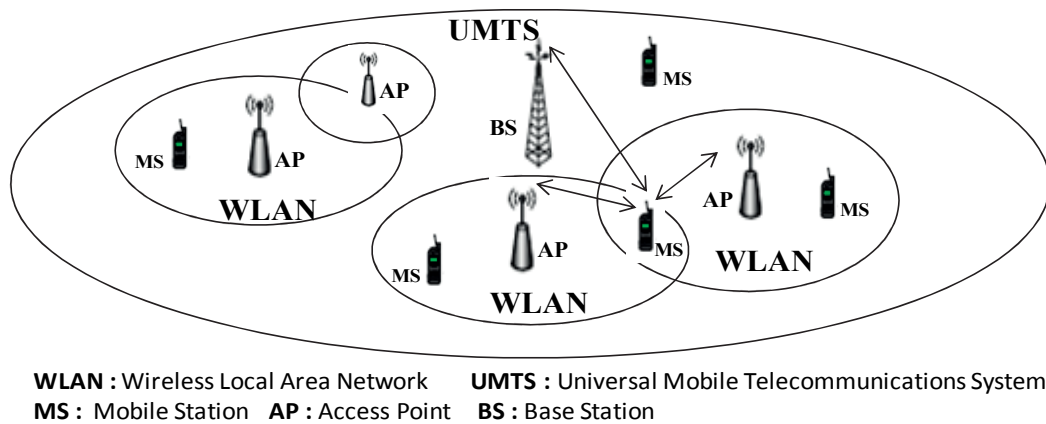


Figure 1.4 - Architecture de réseaux hétérogènes.

La figure 1.4 montre une architecture de système hétérogène composée d'un réseau cellulaire et plusieurs réseaux locaux sans fil. En général, les systèmes cellulaires sont envisagés pour fournir des services à faible bande passante, large couverture et mobilité élevée. En revanche, les technologies locales sans fil ont la capacité d'introduire des services à hauts débits de données avec moins de mobilité. Chacun de ces systèmes ont leurs avantages et leurs inconvénients. Aucune technologie ne pourrait offrir simultanément des services à une bande passante élevée, une grande mobilité, une large zone de service pour un grand nombre d'utilisateurs [37]. Ainsi, une approche d'interconnexion permet d'exploiter des avantages de toutes les technologies et de réduire leurs inconvénients. Le terme de réseaux hétérogènes vient de l'intégration des différentes technologies en but d'exploiter de leurs caractéristiques complémentaires. Grâce aux réseaux hétérogènes, les utilisateurs peuvent transporter de la connexion entre plusieurs points d'accès de différents types, en profitant de meilleurs services personnels en fonction de leurs propres préférences. En outre, les réseaux hétérogènes représentent une solution importante pour diminuer la congestion des réseaux mobiles en partageant le trafic avec d'autres technologies d'accès à plus hauts débits.

1.2.3 Exigences des réseaux hétérogènes

L'infrastructure actuelle des réseaux de télécommunications converge totalement vers des systèmes hétérogènes où les utilisateurs peuvent être rattachés de manière transparente à différents réseaux au cours de leurs communications. Pour assurer une connexion active dans toute la zone de service, des mécanismes des commutations simples entre les différents réseaux sont nécessaires. De plus, un terminal mobile capable de fonctionner

avec plusieurs technologies d'accès est alors indispensable. En conséquence, on peut classer les exigences de réseaux hétérogènes en deux principaux groupes : le premier concerne les opérateurs pour assurer l'interfonctionnement ainsi que les processus de handover entre les différentes technologies d'accès. Le deuxième concerne les performances des terminaux des utilisateurs pour fonctionner et exploiter les services de réseaux.

1.2.3.1 Exigences en termes du cœur du réseau

L'interfonctionnement est un terme exprimant la nécessité de combiner les avantages des différentes technologies d'accès afin d'obtenir le meilleur service. Dans un sens général, l'interfonctionnement consiste à relier deux ou plusieurs réseaux d'accès distincts pour permettre aux utilisateurs finaux d'accéder à ces réseaux et de maintenir la continuité du service. Dans les réseaux hétérogènes, l'interfonctionnement entre les réseaux cellulaires et les réseaux sans fil à large bande peut être effectué selon deux approches principales : couplage serré et couplage dénoué [38][39]. La distinction entre le couplage serré et le couplage dénoué est basée sur le niveau de coopération entre les deux réseaux concernés. Le couplage serré nécessite une modification majeure de l'architecture du réseau d'accès et une refonte du protocole de réseau. L'avantage principal du couplage dénoué est qu'il ne nécessite aucune modification architecturale. Cependant, des accords entre opérateurs qui possèdent les différents réseaux d'accès sont requis. Par conséquent, un utilisateur ne peut pas maintenir une connexion entre deux réseaux d'accès appartenant à deux opérateurs non-collaboratifs, même si l'utilisateur souscrit à ces deux réseaux. Un autre schéma d'interfonctionnement a été proposé en [40] dans lequel les différents réseaux d'accès peuvent être complètement indépendants. Afin d'assurer l'interfonctionnement entre les réseaux sans fil et mobile, le projet 3GPP a défini dans la release 6 [41] les techniques d'interfonctionnement entre les systèmes cellulaires 3GPP avec les réseaux sans fil WLAN. Ensuite, lors de la release 8, le projet 3GPP a introduit également une entité ANDSF (Access Network Discovery and Selection Function) au sein du cœur de réseau (EPC, Evolved packet core) de l'architecture (SAE, System Architecture Evolution) pour assurer l'interfonctionnement entre les systèmes 3GPP (tels que 3G, HSPUS ou LTE) et non-3GPP (tels que le Wifi et WiMax) [42][43]. L'ANDSF fournit aux terminaux des utilisateurs des informations sur les réseaux disponibles, des contraintes, des règles, et des politiques de mobilité inter systèmes de chaque opérateur. Conformément à la spécification 3GPP, ces informations peuvent être classifiées en trois types selon la configuration des opérateurs : Inter-System Mobility Policy (ISMP) pour spécifier au terminal les règles nécessaires pour sélectionner et diriger le trafic sur le réseau d'accès unique préféré, Inter-System Routing Policy (ISRP) pour spécifier des règles au terminal afin de sélectionner et diriger le trafic simultanément sur de multiples réseaux d'accès, et les informations de découverte du réseau d'accès pour fournir une liste des réseaux disponibles dans le voisinage de l'utilisateur dans le but d'accélérer la connexion à ces réseaux [44]. De cette façon, les terminaux sont capables de détecter rapidement les réseaux d'accès disponibles et prendre des décisions sur le choix du réseau le plus approprié pour la poursuite du service. Les flux

de signalisation pour l'accès au réseau non-3GPP via l'ANDSF est représentée sur la figure 1.5 :

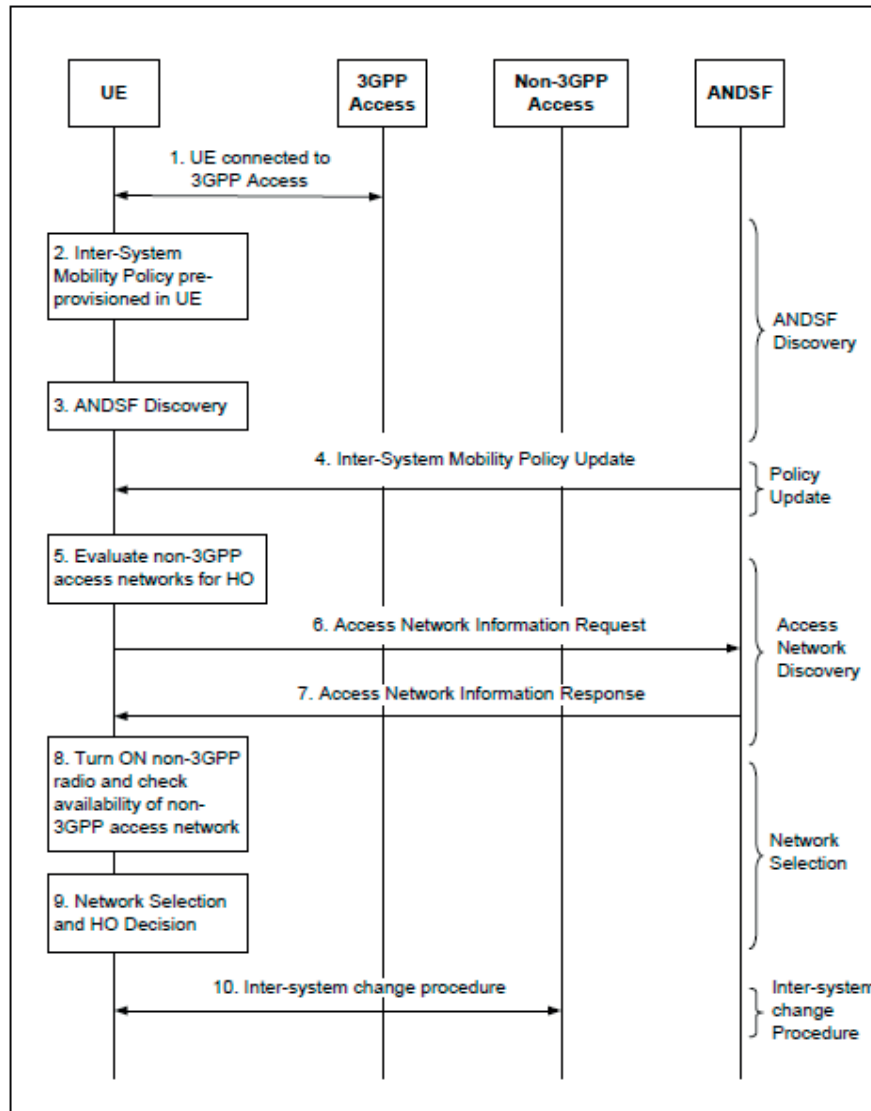


Figure 1.5 - Flux de signalisation pour l'accès au réseau non-3GPP via ANDSF [43].

En revanche, IEEE a créé un groupe de travail IEEE 802.21 [45] dans le but d'élaborer une norme pour permettre à un terminal mobile de se déplacer de manière transparente entre différents technologies d'accès de type IEEE 802. La norme a été nommée Media Independent Handoff (MIH) services et a été ensuite étendue pour permettre l'intégration de différents réseaux cellulaires. Elle a présenté un cadre (framework) pour supporter des transferts transparents entre les différents types de réseaux [46]. IEEE 802.21 fournit uniquement le cadre global tandis que les algorithmes qui seront réellement mis en œuvre sont laissés aux concepteurs. La réalisation de l'interfonctionnement basée sur ANDSF ainsi que IEEE 802.21 au sein de l'architecture du système évolué 3GPP est illustré par la figure 1.6.

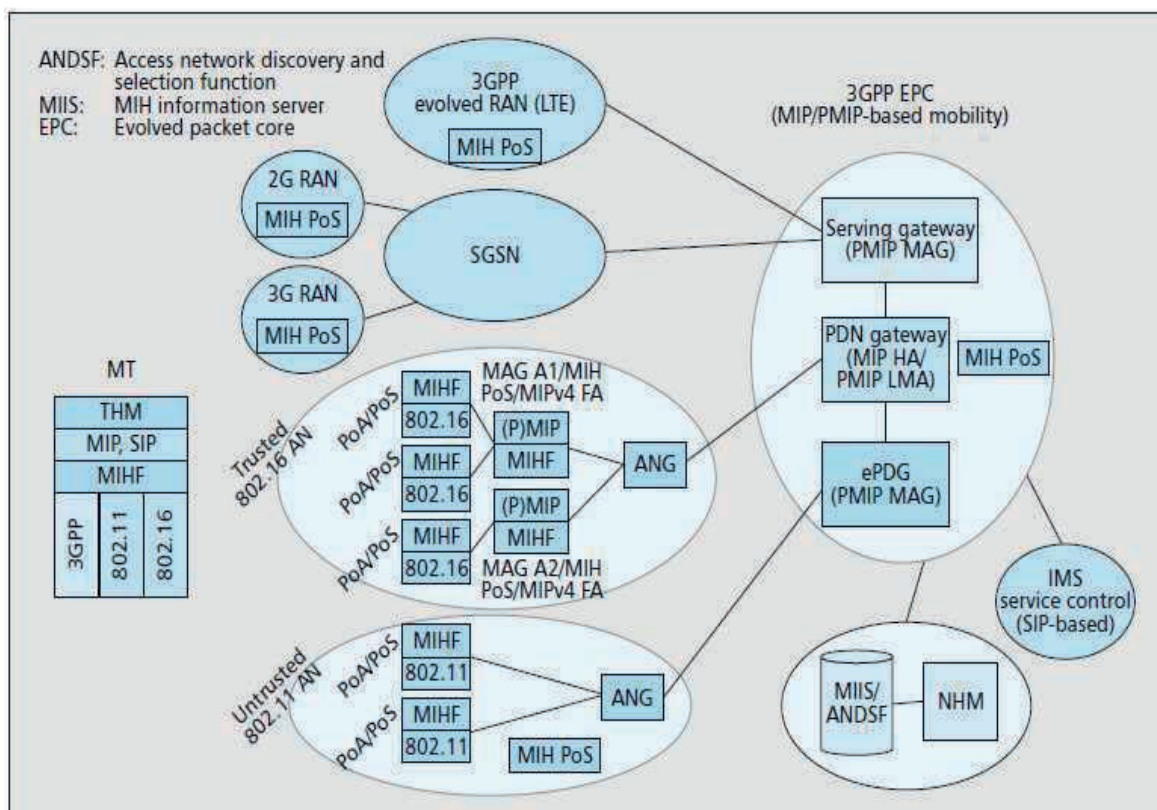


Figure 1.6 - Architecture du système évolué 3GPP [47].

En outre, IEEE a présenté également la norme 802.11u en but de soutenir l'interfonctionnement des réseaux WLAN avec les réseaux externes [48]. IEEE802.11u permet d'activer et automatiser la découverte et la sélection des réseaux. Les points d'accès compatibles avec 802.11u annoncent aux terminaux mobiles des informations concernant les réseaux disponibles susceptibles d'aider à choisir le réseau le plus adapté et effectuer les réglages nécessaires à la connexion.

1.2.3.2 Exigences en termes d'utilisateur

Avec l'intégration des réseaux sans fil et mobiles, plusieurs types de technologies peuvent être exploitées pour atteindre les services de réseaux. L'utilisateur mobile devrait être en mesure de communiquer et de se déplacer au sein de ces architectures. Ainsi, à cet environnement, c'est le terminal de l'utilisateur qui gère en général la décision de sélection du réseau et supervise la communication après l'initialisation, tenant compte des facteurs importants concernant les réseaux disponibles et les préférences indiquées par les utilisateurs. C'est pourquoi, le terminal intelligent représente un des points clés dans le domaine des réseaux hétérogènes. Il est toujours responsable d'assurer une connexion avec le meilleur réseau disponible. Il identifie périodiquement la qualité de connexion, les réseaux disponibles, les services présentés par chaque réseau et suivant une stratégie de sélection considérée, il prend la décision de handover ainsi que la sélection du réseau cible.

En conséquence, deux exigences sont indispensables en ce qui concerne le terminal mobile. La première concerne la capacité du terminal à fonctionner avec tous les réseaux d'accès disponibles. La réalisation de cet objectif nécessite l'intégration des multiples interfaces à chaque terminal ou des interfaces hétérogènes capables de s'adapter avec plusieurs technologies d'accès. La deuxième réside dans la capacité du terminal à collecter les informations nécessaires, les traiter et ensuite prendre la décision de commuter vers le réseau désiré. Une architecture générale de terminal mobile dans l'environnement des réseaux hétérogènes est illustrée sur la figure 1.7. L'architecture proposée en [49] permet de fonctionner avec les réseaux WLAN, WiMax et LTE en se basant sur les normes 802.21 et 802.11u et prenant compte des préférences des utilisateurs, des exigences des applications et des performances et capacités des réseaux disponibles.

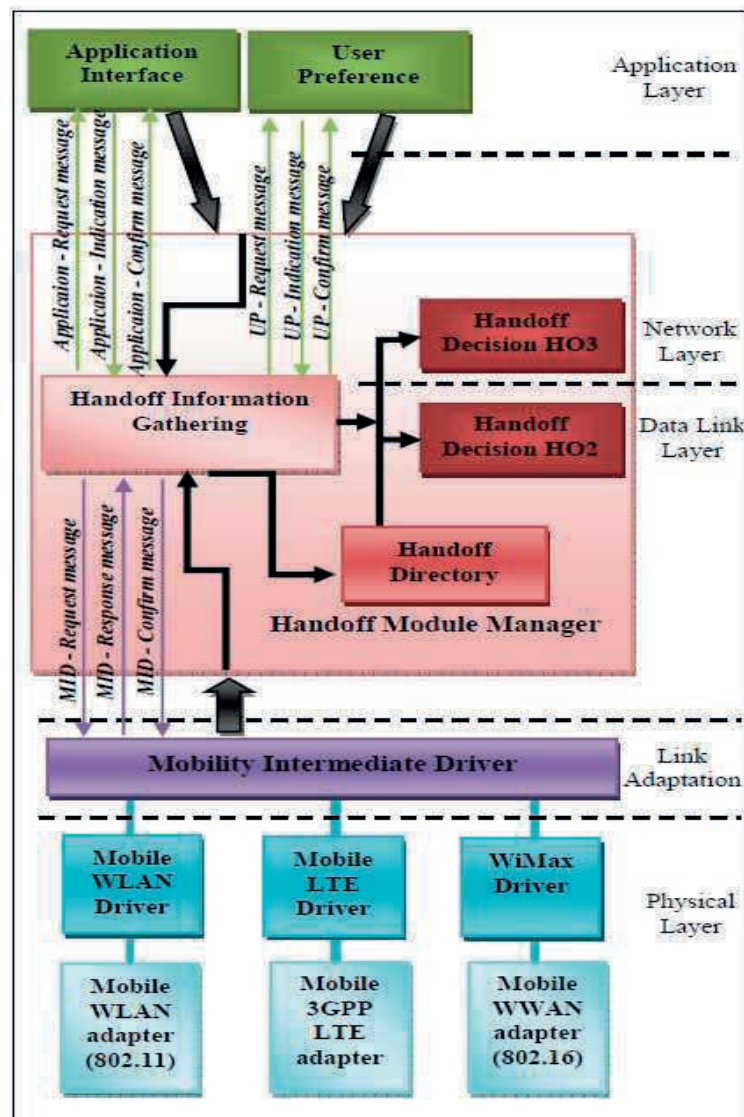


Figure 1.7 - Architecture du terminal dans un environnement hétérogène [49].

1.2.4 La stratégie de sélection et les critères de choix

La demande croissante des consommateurs pour l'accès aux services de communication en tout lieu et à tout moment, a conduit à accélérer le développement réalisé à l'intégration de différentes technologies d'accès sans fil. Comme illustré par la figure 1.8, dans cet environnement les terminaux mobiles qui sont équipés par plusieurs interfaces seront toujours en mesure de choisir le lien d'accès le plus approprié parmi les autres possibles.



Figure 1.8 - Environnement de réseaux hétérogènes sans fil [50].

Les stratégies de sélection traditionnelle sont basées uniquement sur la puissance du signal reçu RSS et ne sont pas suffisantes pour prendre une décision de handover vertical (ou sélection de nouveau réseau). Dans les réseaux hétérogènes, la technique de décision doit impliquer d'autres critères de choix satisfaisant les contraintes des utilisateurs selon les caractéristiques des réseaux disponibles. Les éléments principaux qui peuvent être pris en compte lors de la décision sont les suivants :

- **Le type d'application** : De grands types de services ont été définis dans le domaine des réseaux hétérogènes. Chacun de ces services a des exigences spécifiques en termes de bande passante, de taux d'erreurs binaires ou de latence. C'est pourquoi, le choix de réseau cible doit prendre en compte ces exigences et assurer le niveau requis de la qualité de service suivant le type d'application demandée.
- **Les caractéristiques des réseaux d'accès disponibles** : Elles concernent des informations sur la qualité de liens radio telles que, la puissance du signal reçu, le

rapport signal à bruit (SNR) et le rapport signal-inférence plus bruit (SINR), le taux d'erreurs binaires (TEB). De plus, d'autres caractéristiques du réseau peuvent être intéressantes lors de la décision comme le coût monétaire d'un service, le niveau de sécurité, la bande passante disponible et la congestion. Le terminal mobile doit déterminer périodiquement tous les réseaux d'accès disponibles et leurs paramètres spécifiques.

- **Des informations concernant le terminal mobile :** Ce sont des informations qui combinent la capacité du terminal et son type de mobilité (c.à.d. la mobilité de l'utilisateur). La capacité du terminal est directement reliée au nombre des interfaces disponibles et à l'état de charge de la batterie. Le type de mobilité ainsi que la vitesse de déplacement jouent aussi un rôle important lors de la sélection du réseau. En effet, pour un déplacement à grande vitesse, les réseaux cellulaires sont mieux adaptés en comparaison avec les réseaux WLAN. Cette zone de couverture sera traversée pendant une durée du temps assez courte.
- **Les préférences de l'utilisateur :** Dans le cadre de réseaux hétérogènes, l'utilisateur peut spécifier ses propres préférences pour la sélection du réseau. Les préférences de l'utilisateur déterminent le degré d'importance d'un utilisateur pour un certain nombre de facteurs pris en compte dans la stratégie de sélection. Ces informations sont différentes d'un utilisateur à un autre et jouent un rôle crucial pour déterminer le réseau désiré. Plusieurs utilisateurs préfèrent toujours se connecter au réseau d'accès le moins cher, tandis que d'autres peuvent préférer des réseaux d'accès avec de qualité de service élevée. Les préférences de l'utilisateur peuvent être variées selon le contexte d'utilisation tenant compte du réseau d'accès utilisé actuellement, de la vitesse de déplacement et du type d'application exécutée. Ces informations pourraient être introduites par l'utilisateur d'une manière statique via une interface graphique ou construites dynamiquement en fonction de l'application utilisée.

En considérant les facteurs déjà mentionnés, plusieurs techniques de sélection du réseau ont été proposées dans la littérature. Chaque technique détermine les conditions requis ainsi que les étapes suivies pour déclencher la stratégie de sélection. Chaque stratégie considère des paramètres spécifiques comme des métriques de choix. En outre, les performances des systèmes qui considèrent ces stratégies ont été analysées en différents termes. Un état de l'art sur les différentes stratégies de sélection ainsi que les performances évaluées sera effectué dans le chapitre 3. Dans notre travail, dans la deuxième partie de la thèse, nous considérons une technique de sélection basée sur la valeur de SINR. Nous analysons les performances des systèmes qui considèrent cette stratégie en termes des probabilités de blocage des appels, probabilités de blocage de handover horizontal, probabilités de blocage de handover vertical ainsi que la qualité de connexion. L'évaluation des performances est faite en considérant deux types de mobilité des utilisateurs dans la zone de service présentés dans la section suivante.

1.2.5 Les modèles de mobilité

Le comportement de déplacement des terminaux mobiles joue un rôle important dans l'évaluation des performances des réseaux de télécommunication sans fil et mobiles. Ils simulent les mouvements des utilisateurs dans une zone de service donnée permettant le calcul des paramètres importants tels que le temps du traitement du canal, le taux de handover, la durée moyenne de séjour dans une cellule et la probabilité de choix d'un trajet de déplacement. Dans la littérature, différents modèles de mobilité ont été proposés et étudiés [51]. En général, ils peuvent être classés en deux catégories décrivant la mobilité individuelle et la mobilité en groupe [52]. Les modèles de mobilité individuelle décrivent la mobilité des utilisateurs mobiles dont les mouvements sont indépendants les uns des autres. Les modèles de mobilité en groupe sont généralement une extension des modèles de mobilité individuelle, où le comportement de chaque groupe des utilisateurs est associé à un point de référence (chef de groupe). D'autres classifications regroupent ces modèles selon la corrélation de déplacement actuels de chaque utilisateur avec les précédents déplacements. On peut signaler des modèles de mobilité aléatoires, des modèles de mobilité avec une dépendance temporelle et des modèles de mobilité avec une dépendance spatiale [53][54]. D'autres modèles de mobilité prennent en compte les restrictions géographiques rencontrées lors du déplacement. Par exemple, les mouvements des véhicules dans une zone urbaine doivent être limités aux rues locales ou aux autoroutes. Ce type de modèle de mobilité est appelé modèle de mobilité avec restrictions géographiques [55]. Chacun de ces modèles représente des mobilités spécifiques qui peuvent être adoptées pour évaluer les performances. Dans ce qui suit, nous présentons les approches des plus importants modèles proposés dans la littérature.

1.2.5.1 Le modèle de mobilité Fluid flow

Le modèle d'écoulement de fluide suppose que les utilisateurs mobiles sont uniformément répartis dans la zone de service, et que chaque utilisateur se déplace dans toutes les directions avec des probabilités équivalentes. La vitesse de déplacement de chaque utilisateur mobile est choisie selon une distribution aléatoire. Le comportement du trafic généré selon ce modèle de mobilité est semblable à un fluide circulant dans un tuyau [56]. Ce modèle ne peut pas représenter exactement les mouvements individuels des utilisateurs mais il est idéal pour optimiser l'utilisation globale du réseau [57]. Il est souvent utilisé pour représenter les caractéristiques de la circulation sur l'autoroute et d'autres situations similaires avec un flux constant de terminaux mobiles.

1.2.5.2 Le modèle de mobilité Random WayPoint (RWP)

Selon le modèle de mobilité RWP, chaque utilisateur choisit aléatoirement un point de destination et se dirige vers cette destination à une vitesse constante. Le déplacement d'un utilisateur d'un point de départ jusqu'à un point de destination est nommé « one movement epoch » [58]. La vitesse des utilisateurs à chaque époque est une vitesse aléatoire et choisie à partir d'une distribution uniforme de la vitesse $[0, V_{max}]$, où V_{max} est la vitesse

maximale admissible pour chaque utilisateur [54]. Dans le RWP, l'utilisateur peut attendre une période de temps appelée "temps de réflexion" avant son départ pour un autre point. Le déplacement d'un utilisateur est indépendant de son déplacement précédent et des déplacements des autres utilisateurs. Donc, à la fin de chaque époque de mouvement, l'utilisateur s'arrête une durée du temps et puis choisit un autre point de destination et, éventuellement, une nouvelle vitesse, et se déplace vers cette destination à une vitesse constante, et ainsi de suite. RWP est l'un des modèles de mobilité largement utilisés dans l'analyse des performances des réseaux sans fil et mobiles. Il représente bien les mouvements individuels qui comprennent l'arrêt, le démarrage et d'autres actions liées aux déplacements individuels dans les villes.

1.2.5.3 Le modèle de mobilité Random Walk (RWM)

Comme dans le modèle RWP, les utilisateurs selon RWM se déplacent aléatoirement et indépendamment les uns des autres. Selon ce modèle, un utilisateur mobile est initialement dans un endroit aléatoire dans la zone de service, puis se déplace dans une direction choisie aléatoirement entre $[0, 2\pi]$ à une vitesse aléatoire entre $[Vmin, Vmax]$. Chaque nouveau déplacement selon le modèle RWM se produit soit après un intervalle de temps constant soit après une distance constante. Le modèle RWM est similaire au RWP puisque le mouvement des utilisateurs est aléatoire dans les deux modèles. La mobilité des utilisateurs selon le modèle RWM devient identique à celle avec RWP lorsque le temps de réflexion égale à zéro et l'intervalle de la vitesse est $[0, Vmax] = [Vmin, Vmax]$ [53][56].

1.2.5.4 Le modèle de mobilité Random Direction (RD)

Dans le modèle (RD), l'utilisateur choisit aléatoirement et uniformément une direction et se déplace dans cette direction jusqu'à ce qu'il atteigne la frontière de la zone de service où il s'arrête un temps de pause. Ensuite, il choisit une nouvelle direction et ainsi de suite. Une petite modification a été faite pour arriver au modèle de mobilité MRD (Modified Random Direction) [59]. Dans cette version, les utilisateurs ne sont plus obligés d'atteindre la frontière de la zone de simulation pour changer la direction. Au lieu de cela, ils peuvent s'arrêter et choisir d'autres directions à n'importe quel moment de leurs déplacements.

1.2.5.5 Le modèle de mobilité Smooth Random (SRM)

Ce modèle est amélioré à partir du modèle RD. La vitesse de déplacement et le changement de direction sont des processus aléatoires, dans lequel les nouvelles valeurs sont corrélées aux précédentes [60]. Puisque les vitesses de chaque utilisateur à différents intervalles de temps sont «corrélées», ce modèle appartient aux modèles de mobilité avec une dépendance temporelle de la vitesse. Cette fonction rend les déplacements des utilisateurs plus doux que le mouvement aléatoire. Le nom de ce modèle (Smooth Random Model) vient de sa caractéristique de modifier la vitesse et la direction du mouvement progressivement et en douceur.

1.2.5.6 Le modèle de mobilité Reference Point Group (RPGM)

Le modèle RPGM (Reference Point Group Model) modélise le comportement des utilisateurs qui se déplacent ensemble. Il est le modèle de mobilité en groupe le plus générique. Il divise les utilisateurs en plusieurs groupes. Les membres de chaque groupe suivent plus ou moins les instructions d'un point de référence. Le mouvement de chaque point de référence peut être dicté par divers moyens en suivant un des modèles de mobilité individuels. Le mouvement du centre du groupe caractérise complètement le mouvement de son groupe correspondant, y compris leur direction et leur vitesse. Avec une sélection appropriée des chemins du point de référence, le modèle RPGM est capable de simuler plusieurs types de comportements de mobilité [61]. Puisque les vitesses de différents utilisateurs sont «corrélées» dans l'espace, ce modèle appartient aux modèles de mobilité avec une dépendance spatiale de la vitesse.

Dans notre travail, nous nous intéressons à la mobilité indépendante et individuelle. Chaque utilisateur dans notre étude se déplace aléatoirement dans la zone de service. Le déplacement d'un utilisateur est indépendant de son déplacement précédent et des déplacements des autres utilisateurs. Pour cela, nous adoptons deux types de mobilités pour décrire le déplacement des stations mobiles et comparer des performances : (fluid flow) et (Random Waypoint). Ces modèles sont largement utilisés pour représenter les mouvements individuels des utilisateurs ainsi que l'utilisation globale du réseau. Beaucoup de travaux ont été faits autour de ces modèles afin de déterminer leurs principaux paramètres. Nous présentons dans le chapitre 4 les caractéristiques fondamentales de ces deux modèles dans un environnement cellulaire.

1.3 Conclusion

Ce premier chapitre nous a aidés à présenter les principales approches considérées dans le cadre de nos études, et de donner l'état de l'art sur les réseaux intelligents et les réseaux hétérogènes qui représentent les deux principaux domaines thématiques abordés dans la thèse. Le réseau intelligent est largement utilisé dans les réseaux fixes et mobiles pour l'introduction des nouveaux services, et presque tous les opérateurs ont construit l'architecture de réseau intelligent de base sur le réseau d'origine pour fournir le service de carte prépayé, services de réseau virtuel privé (VPN) et autres services. Nous avons présenté le modèle conceptuel du réseau intelligent et son principe de création de nouveaux services à partir des groupes SIB. De plus, nous avons mentionné l'évolution du réseau intelligent présentant les thèmes de recherches abordés autour. En revanche, le réseau hétérogène est une solution très intéressante pour atteindre tous les services de réseaux mobiles et sans fil. Au cours de l'évolution de réseaux sans fil et mobile, plusieurs technologies ont été développées. Les réseaux hétérogènes permettent d'intégrer des différentes technologies d'accès en but d'exploiter de ses caractéristiques complémentaires. Dans cet environnement, l'utilisateur choisit la technologie d'accès la plus adaptée en

fonction des plusieurs facteurs de choix. Nous avons défini les différents facteurs qui peuvent être considérés lors de la sélection du réseau. Enfin, nous avons présenté les modèles de mobilité qui peuvent être utilisés afin de représenter les déplacements des utilisateurs dans cet environnement.

Chapitre 2

Réseau intelligent à grande échelle

Ce deuxième chapitre est dédié à l'analyse de la charge de signalisation au sein des réseaux intelligents à grande échelle. Ce sont des réseaux dont le rôle est de servir des utilisateurs situés dans de vastes zones géographiques. Les équipements de ce type de réseaux sont éventuellement disposés dans des régions avec des fuseaux horaires différents. Les positions des équipements au sein du réseau ainsi que la distribution du trafic sur eux jouent un rôle important dans la détermination précise de la taille de signalisation ce qui représente une étape essentielle pour assurer le bon fonctionnement du réseau. Nous analysons dans ce chapitre plusieurs aspects du réseau avec le but de simuler les variations apportées en termes des équipements de signalisation. Nous commençons tout d'abord par présenter les méthodes de calcul de la charge ainsi que le nombre requis de liens de signalisation qui constituent les facteurs de base adoptés pour effectuer nos études. Ensuite, nous analysons plusieurs configurations du RI à grande échelle afin d'étudier les effets du déplacement, de l'addition des nouveaux commutateurs SSP et de la redistribution du trafic sur les équipements du réseau. Finalement, nous présentons un nouvel algorithme permettant de déterminer la distribution optimale. Deux exemples seront détaillés pour démontrer l'efficacité de cet algorithme.

2.1 Détermination de la charge de signalisation dans un RI

Le réseau téléphonique classique est constitué de l'ensemble des organes nécessaires pour mettre en communication deux installations téléphoniques basiques d'abonnés. La migration vers les réseaux intelligents nécessite l'intégration de nouvelles entités au sein de ces réseaux. En général, les éléments principaux d'un RI sont les points de commutation de services SSP et les points de commande de services SCP. Le SCP est un serveur centralisé, comprenant la logique d'exécution du service. Le SSP est un centre de commutation numérique qui détecte les demandes de services intelligents et communique avec le serveur SCP via le réseau de signalisation (SS7) pour obtenir des informations sur la connexion à créer. Les points de commutation de services jouent normalement les rôles des intermédiaires entre soit les commutateurs locaux soit les abonnés avec les points de commande de services. L'ensemble des commandes et des réponses utilisées entre les

points SCP et SSP est décrit par le protocole INAP. Pour chaque demande du service dans le réseau intelligent, plusieurs messages sous le protocole INAP sont échangés entre les commutateurs SSP et les serveurs SCP chargés de la gestion de la session. Ces messages sont différents selon le type de service demandé. Normalement, un appel de service intelligent implique 5 à 10 messages de signalisation INAP [8]. La détermination précise de la taille de signalisation est une étape essentielle pour le bon fonctionnement du réseau. Afin d'atteindre cet objectif, il faut évaluer la charge maximale de signalisation en heures de pointes et ensuite déterminer le nombre de liens nécessaires pour transporter ces informations au sein du réseau. Nous présentons dans cette partie la méthode suivie afin de déterminer la charge totale de signalisation dans un réseau intelligent à grande échelle. Ensuite, nous allons déterminer le nombre minimum de liens de signalisation qui doivent être installés au sein du réseau afin de servir toutes les demandes d'accès aux services en heures des pointes. Dans notre travail, nous considérons une configuration du réseau composée de n commutateurs intelligents (point de commutation de services SSP), de m commutateurs locaux (LE), et un seul serveur (point de commande de services SCP), tels que celui montré sur la figure 2.1. Il faut noter que les points de commutation de service SSP sont des commutateurs traditionnels mais avec de nouvelles fonctionnalités qui leur permettent de détecter les demandes des services intelligents et de transporter le contrôle aux serveurs SCP. Les commutateurs locaux sont des commutateurs traditionnels qui ne peuvent présenter qu'une communication téléphonique classique entre deux abonnés. Dans cette partie, nous supposons que les points SSP jouent des rôles des intermédiaires entre les commutateurs locaux et le point de commande de services.

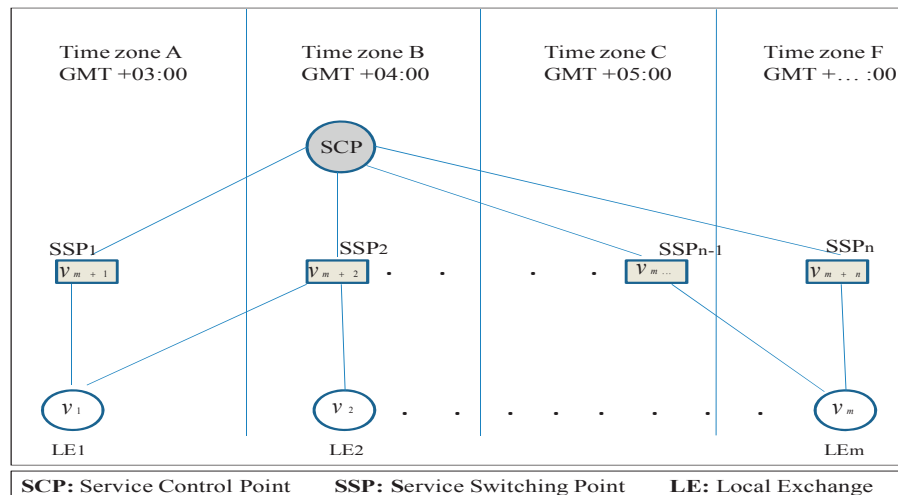


Figure 2.1 - Configuration générale d'un RI à grande échelle.

Nous considérons dans notre travail les éléments suivants représentant les principaux paramètres utilisés dans les calculs de la charge maximale et le nombre de liens de signalisation :

- Le groupe $V1$ indique l'ensemble des commutateurs locaux.

- Le groupe $V2$ indique l'ensemble des points de commutation de services SSP.
- Le groupe $V3$ indique l'ensemble des points de commande de services SCP.
- S indique le nombre de services offerts au sein du réseau.
- $\lambda_s(v_i)$ indique l'intensité des appels (en appels/heure) arrivant au commutateur local correspondant à $v_i \in V1$ pour un service $s \in S$.
- L'_s indique le nombre d'octets (en bytes) de signalisation, envoyés de SSP à SCP, nécessaire pour offrir un service $s \in S$ à un abonné.
- L''_s indique le nombre d'octets (en bytes) de signalisation, envoyés de SCP à SSP, nécessaire pour offrir un service $s \in S$ à un abonné.
- $Z(v_i)$ indique la différence temporelle (en heures) entre la zone correspondant à $v_i \in V1$ et la zone de référence (la zone de SCP).
- B_s indique les heures de pointe pour chaque service $s \in S$, $B_s \in \{0,1,2, \dots, 23\}$.

La méthode de calcul de la charge de signalisation ainsi que le nombre de liens de signalisation est basée sur les travaux présentés en [29][30][62]. Nous allons considérer les cinq étapes principales pour présenter la méthode de calcul du nombre de liens de signalisation adoptée dans notre travail.

Tout d'abord, nous déterminons les charges de signalisation (en Erlang*) qui doivent être générées par les points de signalisation dans le sens direct (de SSP à SCP) et indirect (de SCP à SSP), suivant les appels arrivant à chaque commutateur local $v_i \in V1$ pour chaque service $s \in S$ en heures de pointes, comme suit :

$$a'_s(v_i) = \frac{\lambda_s(v_i) * L'_s}{8000 * 3600} ; v_i \in V1 . \quad (1)$$

$$a''_s(v_i) = \frac{\lambda_s(v_i) * L''_s}{8000 * 3600} ; v_i \in V1 . \quad (2)$$

Dans la deuxième étape, nous calculons les charges de signalisation qui doivent être générées par les points de signalisation dans le sens direct (de SSP à SCP) et indirect (de SCP à SSP), suivant les appels arrivants à chaque commutateur local $v_i \in V1$ pour chaque service $s \in S$ en heure h par les équations suivantes :

$$a'_s(h, v_i) = k(h, v_i) * a'_s(v_i) ; v_i \in V1 \text{ et } h = 0,1,2, \dots, 23 . \quad (3)$$

$$a''_s(h, v_i) = k(h, v_i) * a''_s(v_i) ; v_i \in V1 \text{ et } h = 0,1,2, \dots, 23 . \quad (4)$$

où $k(h, v_i)$ est défini comme suit :

$$k(h, v_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } h + Z(v_i) \in B_s \\ k \in [0,1] & \text{autres cas} \end{cases} \quad (5)$$

*L'Erlang est une unité sans dimension qui mesure le nombre de sessions de communication et leur durée sur une période donnée. 1 Erlang correspond à l'occupation maximale sur une ligne ne permettant qu'une communication téléphonique (par exemple sur une heure, 1 session de 3600 secondes ou 10 sessions de 360 secondes, ou ...).

k indique l'intensité des appels arrivés à un commutateur local $v_i \in V1$ dans une heure précise h par rapport à celle en heures de pointes $h \in B_s$.

Dans la troisième étape, on détermine les charges totales de signalisation qui doivent être générées par les points de signalisation dans le sens direct (de SSP à SCP) et indirect (de SCP à SSP), suivant les appels arrivant à chaque commutateur local $v_i \in V1$ pour tous les services offerts au sein du réseau en heures h par les équations suivantes :

$$\alpha'(h, v_i) = \sum_{s=1}^S \alpha'_s(h, v_i) ; v_i \in V1 \text{ et } h = 0,1,2, \dots, 23 . \quad (6)$$

$$\alpha''(h, v_i) = \sum_{s=1}^S \alpha''_s(h, v_i) ; v_i \in V1 \text{ et } h = 0,1,2, \dots, 23 . \quad (7)$$

Dans la quatrième étape, on calcule la charge de signalisation pour chaque paire de points SSP- SCP. Etant donné que le trafic arrivant à chaque commutateur local $v_i \in V1$ peut être servi par plusieurs points SSP, les charges totales de signalisation générées par les points de signalisation entre chaque pair de points SSP-SCP en heure h dans les sens direct et indirect peuvent être calculées par :

$$\alpha'(h, (v_j, v_l)) = \sum_{s=1}^S \sum_{v_i \in V1} \alpha'_s(h, v_i) \cdot k_s(v_i, (v_j, v_l)) . \quad (8)$$

$$\alpha''(h, (v_j, v_l)) = \sum_{s=1}^S \sum_{v_i \in V1} \alpha''_s(h, v_i) \cdot k_s(v_i, (v_j, v_l)) . \quad (9)$$

où $k_s(v_i, (v_j, v_l))$ est le pourcentage de la charge de signalisation générée suivant les demandes d'accès à un service $s \in S$, arrivant au commutateur local correspondant à $v_i \in V1$ et transportant sur le lien de signalisation (v_j, v_l) où $v_j \in V2$ et $v_l \in V3$.

Dans la dernière étape, on détermine le nombre de liens nécessaires pour servir la charge totale de signalisation pour chaque paire de points SSP-SCP. En considérant des liens de signalisation duplex dont la capacité maximale égale à 0.2 Erlang (prenant en compte les recommandations de l'UIT-T stipulant que la charge de signalisation sur chaque lien dans les conditions normales d'exploitation ne devrait pas dépasser 0,2 Erl) [63], nous calculons le nombre minimal de liens de signalisation qui doit être installé, entre chaque paire de points SSP-SCP, pour assurer le bon fonctionnement du réseau en heures de pointes par :

$$N(v_j, v_l) = \text{Ceil} \left[\frac{\max(\alpha'(v_j, v_l), \alpha''(v_j, v_l))}{0.2} \right] ; v_j \in V2 \text{ et } v_l \in V3 . \quad (10)$$

où $\alpha'(v_j, v_l)$, $\alpha''(v_j, v_l)$ sont les charges maximales de signalisation (en Erlang) sur chaque liaison SSP-SCP dans les sens direct et indirect :

$$\alpha'(v_j, v_l) = \max_{(h=0,1,\dots,23)} \alpha'(h, (v_j, v_l)) ; v_j \in V2 \text{ et } v_l \in V3 . \quad (11)$$

$$\alpha''(v_j, v_l) = \max_{(h=0,1,\dots,23)} \alpha''(h, (v_j, v_l)) ; v_j \in V2 \text{ et } v_l \in V3 . \quad (12)$$

Nous nous intéressons dans la section suivante à examiner, en utilisant les équations (10), (11) et (12), à la fois la charge maximale de signalisation et le nombre minimum requis de liens de signalisation pour plusieurs configurations du réseau intelligent à grande échelle.

2.2 Analyse de la charge de signalisation

Dans cette partie, nous analysons les résultats numériques des différentes équations données dans la section précédente pour plusieurs configurations du réseau intelligent à grande échelle. Nous considérons tout d'abord une partie du réseau composée de huit commutateurs locaux (LE, Local Exchange) et cinq points de commutation de services SSP. Les équipements du réseau sont situés dans une région géographique s'étendant sur quatre fuseaux horaires de GMT +03:00 (Greenwich Mean Time) à GMT +06:00, tel que celui montré sur la figure 2.2. De plus, nous supposons qu'on a un seul serveur (point de commutation de service SCP) situé dans la zone B (GMT +04:00) pour introduire six types de services : FPH, PRM, UAN, CUG, VCC et VOT.

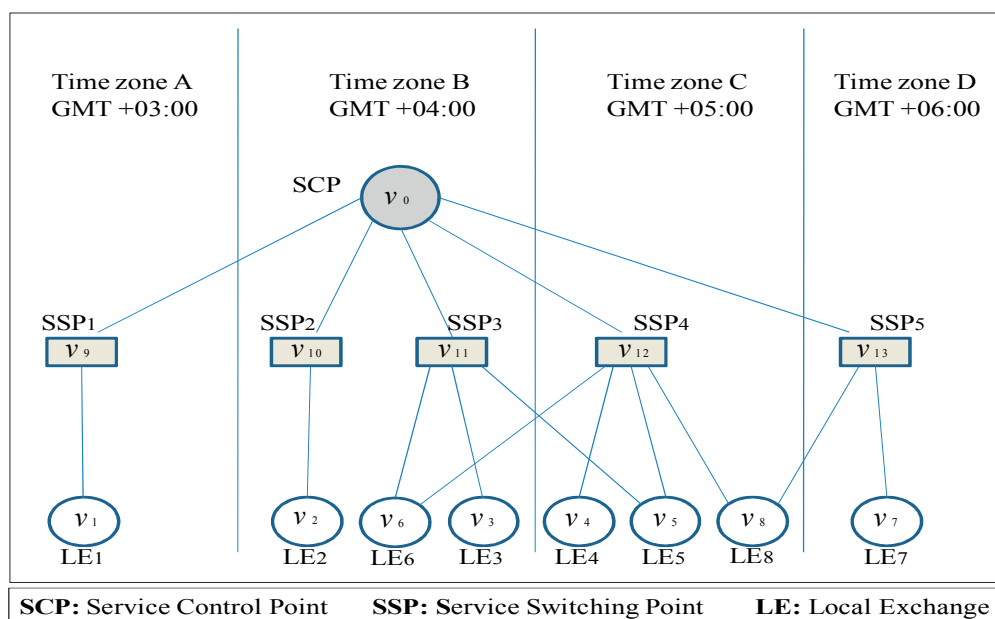


Figure 2.2 - Configuration réelle d'un RI à grande échelle.

Nous adoptons dans notre travail les mêmes données déclarées par [30] (extrait d'une ville en Russie avec une population de plus d'un million habitants) afin de présenter et comparer les résultats obtenus. Les auteurs de [30] ont étudié les effets d'introduction de nouveaux points de commande de services SCP ainsi que leurs positions et déplacements sur la charge de signalisation. Ils ont montré que le déplacement de point de commande de services SCP d'une zone temporaire à une autre voisine ou l'addition des points SCP supplémentaires au sein du réseau à grande échelle n'ont aucune influence ni sur la charge maximale ni sur le nombre de liens de signalisation.

Tableau 2.1 - Les intensités des appels aux services intelligents [30].

SSP	FPH	PRM	UAN	CUG	VCC	VOT
V ₁	22050	2520	2394	31500	50	83160
V ₂	9618	1099	1044	13740	22	36274
V ₃	2400	274	261	3429	5	9053
V ₄	2747	314	298	3924	6	10359
V ₅	2295	262	249	3279	5	8657
V ₆	2163	247	235	3090	5	8158
V ₇	2934	335	319	4191	7	11064
V ₈	2392	273	260	3417	5	9021

Tableau 2.2 - Les charges de signalisation des services intelligents [30].

	FPH	PRM	UAN	CUG	VCC	VOT
L ₂ , octet	460	445	460	625	623	160
L ₂₂ , octet	575	825	575	625	1215	310

Tableau 2.3 - Les heures de pointe des services intelligents.

	FPH	PRM	UAN	CUG	VCC	VOT
V ₁ , V ₃ , V ₄ , V ₅ , V ₇	11-16;19-20	19-23	9-18	11-16;18-20	10-12;20-22	19-23
V ₂	12-17;20-21	0;20-23	10-19	12-17;19-21	11-13;21-23	0;20-23
V ₆ , V ₈	10-15;18;19	18-22	8-17	10-15;17-19	9-11;19-21	18-22

Dans la suite, nous allons premièrement déterminer à la fois la charge maximale et le nombre minimum du liens de signalisation pour la partie du réseau considérée. Ensuite, nous analysons les effets de déplacements d'un point de commutation de service d'une zone temporaire à une autre voisine, l'addition de nouveaux points de commutation, et enfin la redistribution du trafic au sein du réseau.

2.2.1 Plan de l'étude

Dans cette partie, nous avons évalué en se basant sur les méthodes de calculs déjà présentées, la charge de signalisation ainsi que le nombre requis de liens de signalisation pour la configuration représentée sur la figure 2.2. La charge journalière de signalisation pour chaque paire de points SSP-SCP dans cette configuration ainsi que la charge totale arrivant en SCP sont représentées sur la figure 2.3. Nous montrons également dans le

tableau 2.4 les charges de signalisation ainsi que les nombres de liens de signalisation requis en heures de pointes.

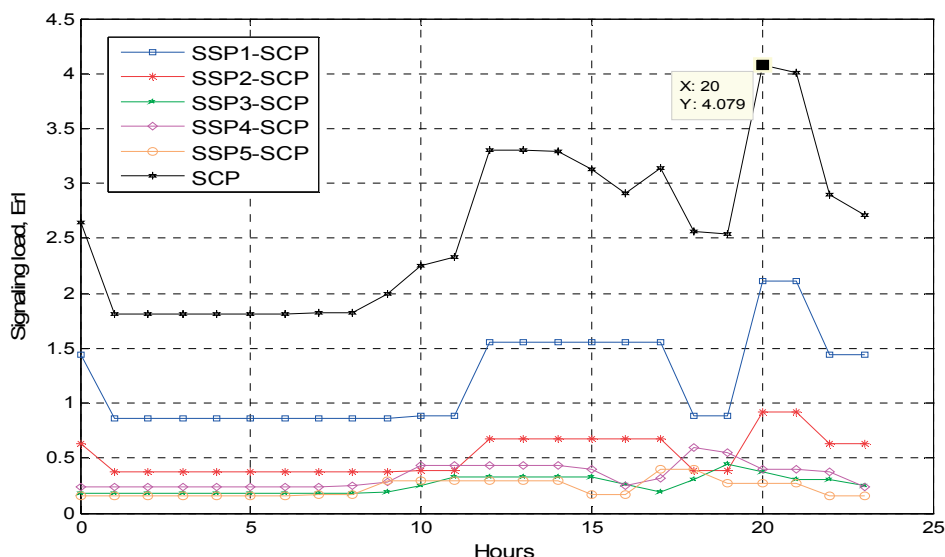


Figure 2.3 - Charge quotidienne de signalisation.

Nous pouvons remarquer dans le tableau 2.4 que le nombre total de liens de signalisation nécessaires pour servir toutes les demandes de services est égal à 24 liens. Cette valeur représente le minimum nombre requis pour assurer le bon fonctionnement du réseau considéré en heures de pointes. En outre, nous notons que la charge maximale de signalisation générée dans le réseau atteint 4,079 Erlang. Elle est obtenue à 20 heures (Time zone B). Nous allons considérer ces deux valeurs comme références de comparaison avec d'autres configurations analysées dans les sections suivantes.

Tableau 2.4 - Charge maximale et nombre de liens.

	Charge à 20 h, (Erlang)	Charge à 21 h, (Erlang)	Nombre de liens
SSP ₁ -SCP	2,111	2,112	11
SSP ₂ -SCP	0.920	0.921	5
SSP ₃ -SCP	0.375	0.301	3
SSP ₄ -SCP	0.403	0.402	3
SSP ₅ -SCP	0.269	0.269	2
Totale	4.079	4.006	24

2.2.2 Déplacement des SSP

Avec le réseau à grande échelle, les équipements du réseau sont disposés dans des régions de fuseaux horaires différents. Les différences temporelles entre les demandes de services

arrivant aux équipements du réseau jouent un rôle important dans le calcul de la charge de signalisation. En conséquence, les positions des équipements du réseau intelligent peuvent affecter la charge maximale ou le nombre de liens requis. Le but de notre travail dans cette partie est d'analyser l'effet du déplacement (ou positions) des points de commutation de services SSP sur la taille de signalisation. Pour atteindre cet objectif, nous avons déplacé le point de commutation de services SSP_1 situé dans la zone temporaire A « GMT +03:00 » vers les zones voisines B, C et D, et ensuite refait les calculs. En comparaison avec les résultats obtenus dans la section précédente, nous avons remarqué que le déplacement de point de commutation de service n'a aucune influence ni sur la charge maximale de signalisation ni sur le nombre de liens de signalisation. La justification de ce résultat est basée sur le fait que l'intensité d'appels et les heures de pointes pour les services sont données dans le temps local de chaque commutateur. En changeant la position d'un point SSP, la charge de signalisation créée entre ce point de commutation et le serveur SCP ne change pas car elle est construite sur la base de l'intensité d'appels arrivés aux commutateurs locaux. En conséquence, le nombre de liens de signalisation, qui est relié directement avec la charge maximale de signalisation, n'est pas changé non plus. Une étude plus généralisée faite avec différents types de données a montré que les positions des points de commutation de services SSP, qui fonctionnent comme des intermédiaires entre les commutateurs locaux et les points SCP, dans le RI à grande échelle n'ont aucun effet sur la taille de signalisation.

2.2.3 Introduction de nouveaux SSP

Dans cette partie, nous examinons d'autres configurations du RI à grande échelle dans le but d'étudier l'effet de l'introduction de nouveaux points SSP sur la taille de signalisation. L'intérêt de l'introduction d'un point SSP supplémentaire pourrait servir à réduire le nombre nécessaire de liens de signalisation ainsi qu'à accroître la fiabilité du réseau.

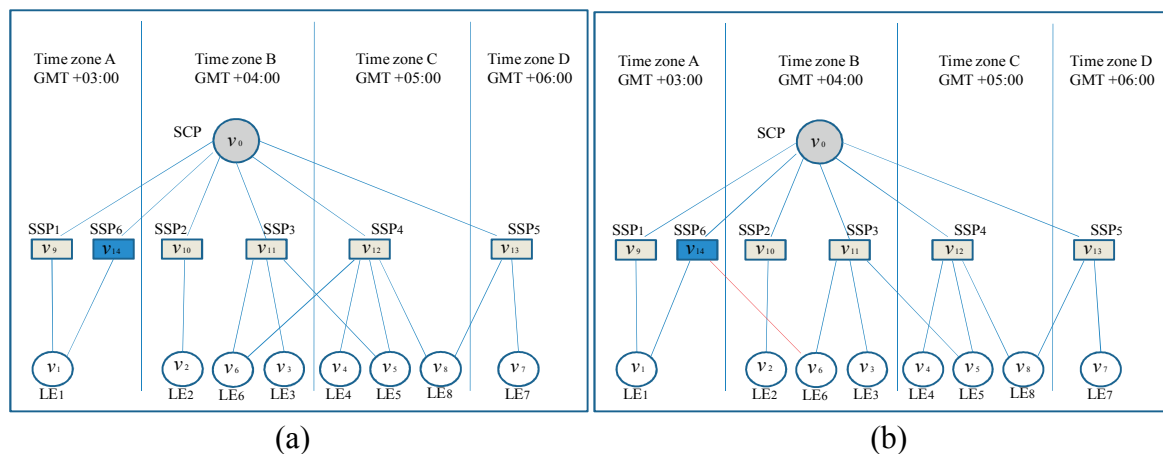


Figure 2.4 - Introduction de nouveaux SSP.

Pour examiner cet effet, nous avons introduit un nouveau point SSP « SSP_6 » dans la zone A « GMT + 03.00 » afin de diviser le trafic provenant de commutateur local LE_1 entre

SSP_1 et SSP_6 comme celui présenté dans la figure 2.4.a. A partir des résultats obtenus, nous avons remarqué que le nombre de liens de signalisation a augmenté jusqu'à 25 liens. Dans une autre configuration telle que présenté dans la figure 2.2.b, le point SSP_6 est utilisé pour servir une partie du trafic arrivant au commutateur local LE_6 . Les nouveaux résultats ont montré que le nombre de liens de signalisation a diminué jusqu'à 23. La charge maximale de signalisation dans les deux configurations n'a pas changée et elle est toujours égale à 4.079 Erlang. En conséquence, on peut conclure que l'addition de nouveaux points de commande de services n'a aucune influence sur la charge maximale de signalisation générée au sein du réseau. D'un autre côté, elle peut jouer un rôle important dans la réduction du nombre de liens de signalisation. Cette réduction s'est produite de la redistribution du trafic du réseau sur les points de commutation de services. Nous proposons dans la section suivante un nouvel algorithme qui permet de déterminer les pourcentages optimaux de distribution du trafic sur les points SSP afin d'optimiser le nombre requis de liens de signalisation.

2.3 Minimisation de nombre de liens de signalisation

Nous présentons dans cette partie un nouvel algorithme permettant de déterminer la distribution optimale du trafic au sein d'un réseau intelligent à grande échelle. Le but de cet algorithme est de déterminer le nombre minimum requis de liens de signalisation et puis de distribuer le trafic sur les points SSP afin d'atteindre cette valeur. Il est basé sur le fait que les heures de pointe correspondant à chaque commutateur local sont généralement différentes suivant la zone où ils sont positionnés. Son principe de fonctionnement se résume à répartir le trafic sur les points SSP afin de rendre les pics de trafic des commutateurs locaux non-cumulables et, au même temps, de rendre la charge de signalisation passée à travers chaque lien de signalisation près de sa capacité maximale (0,2 Erl dans notre étude).

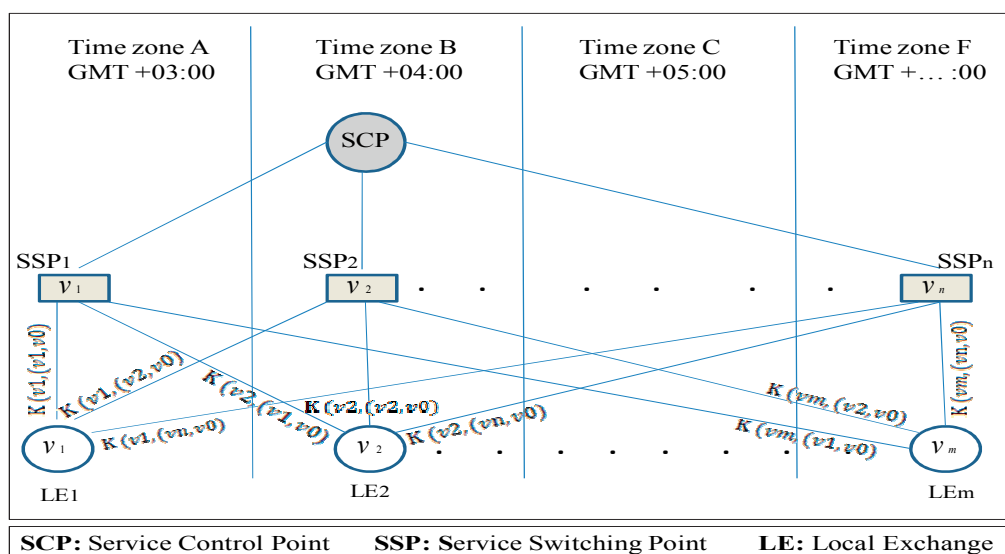


Figure 2.5 - Distribution du trafic au sein d'un RI à grande échelle.

Pour présenter cet algorithme, nous considérons un réseau composé de n points de commutation de services SSP, m commutateurs locaux, et un seul point de commande de services SCP « v_0 » comme il est indiqué sur la figure 2.5.

1. Tout d'abord, nous supposons que chaque commutateur local $v_i \in V1$ est desservi par tous les points de commutation de services SSP existants dans le réseau avec des différents pourcentages, en prenant en considération que :

$$\sum_{j=1}^n k(v_i, (v_j, v_0)) = 1; \quad \forall v_i \in V1, v_j \in V2. \quad (13)$$

où $k(v_i, (v_j, v_0))$ est le pourcentage de la charge de signalisation générée suivant les appels, arrivant au commutateur local correspondant à $v_i \in V1$ et transportant sur le lien de signalisation (v_j, v_0) où $v_j \in V2$ et $v_0 \in V3$.

2. Nous calculons la charge totale de signalisation (en Erlang) générée au sein du réseau en heures h dans les sens direct et indirect par les équations suivantes :

$$SCP'(h) = \sum_{v_i \in V1} \alpha'(h, v_i); \quad v_i \in V1, v_j \in V2. \quad (14)$$

$$SCP''(h) = \sum_{v_i \in V1} \alpha''(h, v_i); \quad v_i \in V1, v_j \in V2. \quad (15)$$

3. A partir des valeurs de la charge totale de signalisation, nous déterminons le nombre minimum de liens de signalisation nécessaires pour transporter la charge maximale de signalisation (en heures de pointes) par la formule suivante :

$$Min_{Links} = Ceil \left[\frac{Max(\max_{h=0,1,...,23} (SCP'(h)), \max_{h=0,1,...,23} (SCP''(h)))}{0.2} \right] \quad (16)$$

4. Ensuite, nous supposons plusieurs types de distribution de liens de signalisation entre les paires de points $SSP_j - SCP$; $j \in [1: n - 1]$.
5. Pour chaque groupe de liens de signalisation supposé ($N1, N2 \dots, Nn-1$), nous cherchons à déterminer les pourcentages de répartition du trafic arrivé des commutateurs locaux aux points SSP, qui rendent la charge de signalisation passée à chaque lien près de sa capacité maximale en considérant les étapes suivantes :
 - a) Premièrement, nous donnons des valeurs virtuelles à tous les pourcentages de répartition du trafic arrivant au point de commutation SSP_1 (voir la figure 2.5) :

$$k(v_i, (v_1, v_0)) = [0: 1]; \quad v_i \in V1 \text{ et } i \in [1: m]. \quad (17)$$

- b) Après, nous calculons la charge de signalisation entre la paire de points SSP_1 -SCP pour chaque groupe de distribution $k(v_i, (v_1, v_0))$ à partir des équations 8 et 9.

- c) Ensuite, nous évaluons les charges maximales de signalisation, matrice MSL , qui indiquent le nombre requis de liens de signalisation correspondant à chaque groupe de distribution $k(v_i, (v_1, v_0))$ par la formule :

$$MSL = \max((a'(v_1, v_0), a''(v_1, v_0)) / 0.2) ; v_1 \in V2, v_0 \in V3. \quad (18)$$

- d) A partir de la matrice MSL , nous choisissons les pourcentages de distribution du trafic arrivé à SSP_1 , $k(v_i, (v_1, v_0))$, qui rendent $MSL + \delta$ plus proche de NI ;
ou δ est un intervalle d'incertitude déterminé par l'opérateur pour prendre en compte les variations possibles des paramètres du réseau (intensité des appels, charges horaires) qui sont connues de manière approximative et sont susceptibles de varier dans le monde réel.
- e) Deuxièmement, nous faisons varier les pourcentages de distribution du trafic arrivé à SSP_2 , $k(v_i, (v_2, v_0))$, dans le domaine suivant :

$$k(v_i, (v_2, v_0)) = [0; 1 - k(v_i, (v_1, v_0))] ; v_i \in V1. \quad (19)$$

- f) Nous refaisons les étapes b, c et d pour calculer les pourcentages de distribution du trafic arrivé à SSP_2 , $k(v_i, (v_2, v_0))$; $v_i \in V1$.
- g) De la même manière, on calcule les pourcentages de distribution du trafic arrivant aux points de commutation $SSP_3, SSP_4 \dots, SSP_n$.
6. A partir des pourcentages de distribution du trafic arrivé à SSP_n , $k(v_i, (v_n, v_0))$; $v_i \in V1$, nous déterminons le nombre de liens de signalisation entre la dernière paire de points $SSP_n - SCP$ par l'équation numéro 10.
7. Finalement, nous choisissons les pourcentages de distribution du trafic $k(v_i, (v_j, v_0))$; $j \in [1:n]$ qui rendent la somme des liens de signalisation entre tous les paires de points égale à la valeur minimal requis :

$$N1 + N2 + \dots + Nn = Min_{Links}. \quad (20)$$

A partir de cet algorithme, nous obtenons plusieurs groupes de distribution du trafic généré au sein d'un réseau intelligent à grande échelle sur les points de commutation de services SSP. Chacun de ces groupes de distribution assure le bon fonctionnement du réseau en heures de pointes avec un nombre requis minimum de liens de signalisation. Chaque fournisseur choisit la meilleure distribution du trafic au sein du réseau en fonction de ses propres préférences.

2.3.1 Application 1

Dans cette partie, nous essayons de montrer l'efficacité de l'algorithme proposé à déterminer la distribution optimale du trafic au sein du réseau intelligent à grande échelle. Nous utilisons cet algorithme pour analyser la distribution du trafic au sein du réseau

représenté sur la figure 2.2. Nous rappelons que le réseau mentionné contient huit commutateurs locaux et cinq points de commutation de services SSP. Les équipements du réseau sont situés sur quatre zones temporaires à partir de GMT +03:00 jusqu'à GMT+06:00. Les résultats obtenus à partir de cet algorithme indiquent que le nombre minimum de liens de signalisation nécessaire pour servir la charge totale de signalisation en heures de pointes égale à 21 liens. Cette valeur peut être suffisante en redistribuant le trafic de commutateurs locaux sur les points de commutation de services SSPs suivant les pourcentages de distribution indiqués dans le tableau 2.4. En comparaison avec les résultats obtenus de la distribution d'origine, nous pouvons remarquer que l'algorithme proposé a permis de réduire le nombre requis de liens de signalisation de 24 jusqu'à 21 liens.

Tableau 2.5 - Les pourcentages de distribution pour la configuration optimale.

	LE ₁	LE ₂	LE ₃	LE ₄	LE ₅	LE ₆	LE ₇	LE ₈	N-Links
SSP ₁	0.5	0	0	0	0	1	0	0	6
SSP ₂	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	7
SSP ₃	0	0.5	0	0	0	0	0.5	0	3
SSP ₄	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	4
SSP ₅	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1

La charge journalière de signalisation pour chaque paire de points SSP-SCP dans la nouvelle configuration est représentée sur la figure 2.6. Comme prévu, la charge maximale de signalisation avec la nouvelle configuration (distribution) n'a pas changée et elle est toujours égale à 4.079 Erlang.

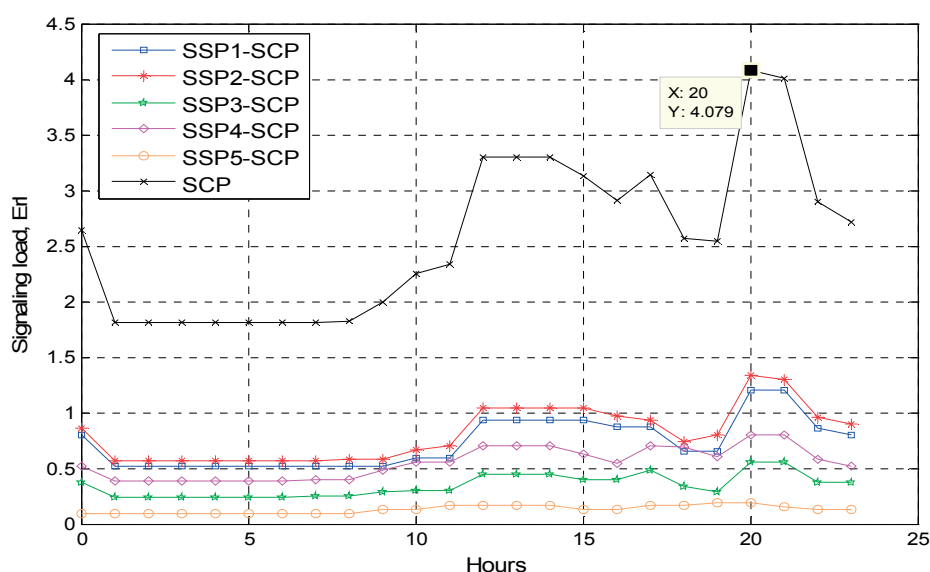


Figure 2.6 - Charge quotidienne de signalisation.

➤ Remarque

Nous avons déjà mentionné que les points de commutation de services jouent le rôle d'intermédiaire entre les commutateurs locaux et les abonnés avec le point de commutation de service SCP. Dans toutes les études déjà présentées, nous avons considéré les points de commutation de services comme des intermédiaires entre les commutateurs locaux et les points de commande de services. Dans quelques cas, les commutateurs intelligents (points de commutation de services SSP) peuvent recevoir des demandes de service directement des abonnés (des intermédiaires entre les abonnés et les SCP) en plus à son rôle comme intermédiaire entre les commutateurs locaux et les serveurs SCP. Dans ces cas, plusieurs modifications doivent être prises en compte lors de l'application de l'algorithme proposé :

1. On calcule les pourcentages de distribution du trafic arrivé au point SSP1 en considérant les étapes suivantes :
 - Premièrement, on refait les étapes a, b et c pour calculer les charges maximales de signalisation, matrice MSL , correspondant à chaque groupe de distribution $k(v_i, (v_1, v_0))$.
 - Ensuite, on choisit la plus petite valeur de la matrice MSL et l'approchons à la première valeur entière plus grande, N_l .
 - On choisit les pourcentages de distribution $k(v_i, (v_1, v_0))$ qui rendent la valeur de MSL plus proche de N_l .
2. De la même manière, on calcule les pourcentages de distribution du trafic arrivé aux points de commutation $SSP_2, SSP_3 \dots, SSP_n$.
3. A partir des valeurs de $k(v_i, (v_n, v_0))$; $v_i \in V1$, nous déterminons le nombre de liens de signalisation entre le dernier point SSP et le point SCP par l'équation numéro 10.

2.3.2 Application 2

Dans cette partie, nous supposons que cinq des commutateurs locaux représentés sur la figure 2.2 fonctionnent comme des points de commutation de services. Cela veut dire que ces points reçoivent à la fois des demandes de services des abonnés et des commutateurs locaux et se connectent avec le point de commande de services pour fournir les services demandés. La nouvelle configuration considérée est représentée sur la figure 2.7.a. Dans l'étape suivante, nous utilisons l'algorithme proposé dans la section précédente pour déterminer la distribution optimale du trafic au sein du réseau considéré. Nous voulons rappeler que la charge maximale à cette configuration est de 4.079 Erlang et le nombre minimal de liens de signalisation est de 24 liens. A partir des résultats obtenus de l'algorithme proposé, nous pouvons remarquer que le nombre minimal requis de liens de signalisation peut être réduit de 24 liens jusqu'à 22 liens. Cette réduction est obtenue en redistribuant le trafic de commutateurs locaux LE_5, LE_6, LE_8 sur les points de commutation de services avec les pourcentages suivants : Le trafic de LE_5 devient servi par les points de commutation de services SSP_4 (50 %) et SSP_5 (50 %), le trafic de LE_6 est servi par les

points de commutation de services SSP_1 (50 %) et SSP_2 (50 %) et finalement le trafic de LE_8 est servi complètement par le point de commutation de services SSP_3 (100 %) comme le montre la figure 2.7.b.

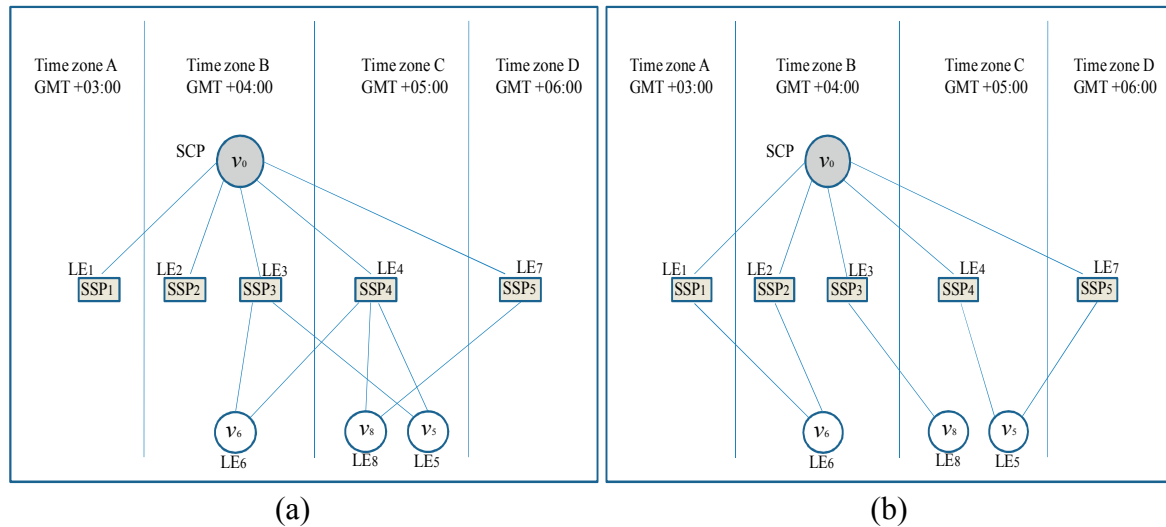


Figure 2.7 - Exemple de distribution du trafic sur les points SSP

Le tableau 2.6 montre les charges maximales de signalisation ainsi que le nombre minimum requis de liens de signalisation dans toutes les liaisons entre les points intelligents. Ils sont donnés en trois heures de pointe pour les deux configurations illustrées sur la figure 2.7.

Tableau 2.6 - Charge maximale et nombre de liens de signalisation

	Maximum Signaling Load at 6 pm, Erl		Maximum Signaling Load at 7 pm, Erl		Maximum Signaling Load at 8 pm, Erl		SLS Capacity	
	Config 4.a	Config 4.b	Config 4.a	Config 4.b	Config 4.a	Config 4.b	Config 4.a	Config 4.b
SSP1-SCP	0.885	0.988	0.885	0.988	2.111	2.182	11	11
SSP2-SCP	0.386	0.489	0.386	0.489	0.920	0.991	5	5
SSP3-SCP	0.309	0.325	0.443	0.386	0.375	0.386	3	2
SSP4-SCP	0.591	0.373	0.555	0.373	0.403	0.254	3	2
SSP5-SCP	0.395	0.391	0.269	0.301	0.269	0.266	2	2
SCP	2.568	2.568	2.538	2.538	4.079	4.079	24	22

On peut remarquer dans le tableau 2.6 que la charge maximale de signalisation entre la paire de points SSP_1 - SCP avant la redistribution du trafic était 2,111 Erlang. Le nombre de liens de signalisation nécessaire pour la transposer au sein du réseau est la valeur entière

de $2.111/0.2 = 10,55 \implies N = 11$ liens. La capacité maximale de ces 11 liens est de $11 * 0,2 = 2,2$ Erlang. Après la redistribution du trafic, la charge maximale de signalisation entre SSP_1 -SCP devient 2,182 Erlang. Nous pouvons remarquer que, après l'application de notre algorithme, un peu de trafic supplémentaire peut être servi par les 11 liens mis en œuvre entre la liaison SSP_1 -SCP. Cela conduira à diminuer le trafic resté dans le réseau et peut réduire le nombre de liens nécessaire pour servir les autres liaisons entre les points SSP et SCP comme ce qui est arrivé dans les liaisons SSP_3 -SCP et SSP_4 -SCP. Donc, après l'application de notre algorithme, les charges maximales de signalisation dans les liaisons SSP_1 -SCP et SSP_2 -SCP ont augmenté mais elles n'ont pas besoin d'augmenter le nombre nécessaires de liens de signalisation dans ces deux liaisons. D'autre part, les charges maximales de signalisation dans les liaisons SSP_3 -SCP et SSP_4 -SCP ont diminué et ont conduit à une réduction du nombre de liens de signalisation dans les liaisons entre le SSP_3 -SCP et SSP_4 -SCP.

Les résultats de nos études montrent une diminution représentative dans le nombre total de liens de signalisation nécessaires pour les liaisons de signalisation. Cependant, nous devons noter qu'avec d'autres données et avec différentes configurations du réseau, cette réduction peut prendre des valeurs beaucoup plus importantes. Par exemple, lorsque l'on considère les mêmes données de trafic qui étaient pris en compte dans ce travail et pour assurer le bon fonctionnement du réseau en heures de pointes, on pourrait exiger jusqu'à 26 liens sans aucune répartition analytique (dans le pire des cas), alors que l'algorithme proposé permet de minimiser ce nombre à 21 liens. Par conséquent, une réduction de 20% du coût total en termes de liens de signalisation a été obtenue. De plus, il faut noter que chaque lien de signalisation économisé permet de servir 40 000 utilisateurs en plus. En tout cas, nous confirmons que cet algorithme garantit d'avoir le nombre minimum nécessaire de liaisons de signalisation quelles qu'est les relations de signalisation utilisées dans la configuration d'origine.

2.4 Conclusion

L'analyse précise de la charge de signalisation est une étape indispensable pour assurer le bon fonctionnement du réseau intelligent avec le coût le plus faible possible (optimal). Dans ce chapitre, nous avons étudié l'influence d'emplacement des équipements des RI à grande échelle ainsi que la répartition du trafic au sein du réseau sur la taille de signalisation. Plusieurs configurations ont été analysées dans ce chapitre. Les résultats numériques développés dans notre travail ont montré que le déplacement de point SSP d'une zone temporaire à une autre n'a aucun effet sur la charge maximale ou sur le nombre de liens requis. En outre, nous avons constaté que l'addition de nouveaux points SSP ne conduit pas à diminuer la charge maximale de signalisation, mais il peut jouer un rôle important dans la réduction du nombre de liaisons de signalisation en redistribuant le trafic vers les points SSP. Un algorithme a été proposé pour choisir les pourcentages de répartition optimale des appels provenant de chaque commutateur local sur les points SSP.

Cet algorithme est général et peut être facilement appliqué dans d'autres configurations de RI à grande échelle.

Chapitre 3

Réseau hétérogène : Algorithmes de handover et stratégies de sélection

Les nouveaux réseaux intégrés sans fil et mobiles font leur apparition pour offrir une large gamme de services partout et à tout moment à travers des réseaux hétérogènes. Les nouveaux terminaux mobiles sont équipés des interfaces hétérogènes et peuvent fonctionner avec toutes les technologies d'accès disponibles pour fournir les services correspondants. Le concept Always Best Connected (ABC) assure aux utilisateurs situés dans un système hétérogène la meilleure connectivité n'importe où et à tout moment. Dans ce contexte, les terminaux mobiles sont toujours en mesure de choisir le lien d'accès le plus approprié parmi les choix possibles. La stratégie de sélection représente un des éléments essentiels pour supporter le concept ABS et également assurer un handover transparent entre une multitude de technologies d'accès prenant en compte à la fois les préférences des utilisateurs et les caractéristiques des réseaux disponibles. Dans la littérature, plusieurs techniques ont été proposées et analysées. Nous présentons dans ce chapitre un état de l'art sur les techniques de sélection abordées dans la littérature introduisant les stratégies de sélection les plus récentes et les plus intéressantes et mettant en évidence leurs caractéristiques et limitations principales.

3.1 Procédures de handover

Le processus de handover est l'ensemble des opérations mises en œuvre afin de permettre à un terminal mobile de passer d'un réseau à un autre sans aucune interruption de la conversation en cours. Les scénarios de handover peuvent être classés d'horizontal et de vertical. Le handover horizontal est le processus de transfert d'un appel entre des cellules différentes d'un même réseau. Il est généralement réalisé dans les réseaux cellulaires homogènes lors de déplacement d'un utilisateur entre deux cellules de la même technologie d'accès. Ce processus est requis normalement à cause de la mobilité et de l'impossibilité de la maintenance de la connexion avec la même station de base où l'accès au service devient indisponible. En revanche, le handover vertical est le processus de transfert d'un appel entre deux différentes technologies d'accès. Ce processus est indispensable dans le

domaine des réseaux hétérogènes et peut être impliqué pour des raisons de satisfaction des désirs des utilisateurs plutôt que des raisons de connectivité. Par exemple, le terminal mobile peut vouloir se connecter à un autre réseau pour une meilleure qualité de connexion même si la connexion avec l'ancien réseau est toujours possible. En général, le processus de handover peut être réalisé en passant par trois étapes principales [64] :

3.1.1 Collecte de l'information et initiation de handover

Cette étape concerne la préparation et l'initiation de handover. A cette étape, le terminal mobile détermine les réseaux disponibles dans son environnement et ensuite identifie leurs caractéristiques principales tels que la puissance du signal reçu, le niveau de l'interférence et le taux d'erreurs binaires. D'autres informations peuvent être également intéressantes telles que la vitesse de l'utilisateur, la capacité du terminal et le taux de charge de la batterie. Ces informations seront utilisées pour prendre la décision de handover et ensuite l'effectuer en cas de nécessité. La consultation de ces informations peut être périodiquement réalisée ou reliée à l'arrivée de certaines événements.

3.1.2 Décision de handover et sélection d'un réseau

Pendant la procédure de handover, la décision de transfert est l'étape la plus importante qui affecte le fonctionnement normal de la communication. Une décision incorrecte peut dégrader la qualité de service et même interrompre la communication en cours. En général, cette étape assure la surveillance de la connexion avec le réseau en cours, la détermination de la nécessité de handover, la sélection du réseau et le temps précis de transfert de l'appel. En considérant les préférences des utilisateurs et les caractéristiques des réseaux disponibles, la stratégie de sélection adoptée permet à chaque utilisateur de choisir le réseau d'accès le plus approprié parmi les autres disponibles. Des instructions à la phase d'exécution seront fournies en fin de cette étape.

3.1.3 Exécution du handover

L'exécution de handover concerne les démarches suivies afin de changer la connexion entre les deux réseaux concernés et finalement continuer la connexion avec le réseau choisi. Donc, cette étape est utilisée pour changer les canaux de l'ancien réseau vers le nouveau point d'accès (ou station de base) en suivant les instructions détaillées au cours de la phase de décision. Trois démarches sont incluses pendant cette période : l'établissement de la connexion avec le réseau cible, la libération des canaux avec le réseau en cours et l'invocation des services d'authentification nécessaires. Une fois le meilleur réseau d'accès sélectionné, et l'authentification avec le réseau cible réalisée, la session de communication se poursuivra par le nouveau réseau à travers une nouvelle interface radio. Il faut noter que l'exécution de handover peut être réalisée de différentes méthodes générant plusieurs types de handover. Dans le premier type, *make-before-break*, la connexion avec le nouveau réseau (AP ou BS) est établie avant la libération de la connexion avec l'ancien réseau et ce

type de handover est appelé soft handover. Donc, le terminal mobile est relié à deux points d'accès (ou BS) pendant une certaine durée du temps. En revanche, avec le handover de type break-before-make, la connexion avec l'ancien réseau est résiliée avant d'en établir une autre avec le nouveau réseau et ce type de handover est appelé hard handover. Le terminal mobile de ce type ne peut être relié qu'à un seul point d'accès (ou BS) en même temps.

Beaucoup de travaux avaient abordé les étapes de la décision et de l'exécution de handover présentant des algorithmes de handover ainsi que des protocoles de contrôle de la mobilité. Nous nous concentrons uniquement sur la décision de handover et plus précisément sur les stratégies de sélection d'un réseau dans l'environnement hétérogène.

3.2 Contrôle de handover

Nous avons montré que les étapes principales rencontrées afin d'effectuer le processus de handover sont résumées par : la collection des informations, la décision et l'exécution. La décision de choix peut être faite soit par le réseau concerné, soit par le terminal mobile ou également en faisant participer les deux parties c.à.d. le réseau et le terminal mobile. Donc, du point de vue de la partie concerné par le contrôle, on peut distinguer quatre différents types de handover [65][66] :

3.2.1 Handover contrôlé par le mobile (MCHO)

A ce type de handover, c'est le terminal mobile qui est le seul responsable de la décision de handover. Il effectue les mesures nécessaires et combine les informations requises pour la décision. Ensuite, en se basant sur la stratégie de sélection considérée, le terminal mobile prend la décision finale. Avec le handover MCHO, le réseau n'a aucune participation à la décision. Ce type de handover a l'avantage de la réduction de la complexité de réseau.

3.2.2 Handover contrôlé par le réseau (NCHO)

Contrairement au handover contrôlé par le terminal mobile, la gestion de handover dans ce type est totalement effectuée par le réseau. Les mesures des paramètres ainsi que la décision de handover sont effectués dans la partie réseau. Il n'y a aucune participation du terminal mobile de la décision de handover.

3.2.3 Handover assisté par le mobile (MAHO)

Dans ce type de handover, la décision finale est faite en combinant les efforts renforcés des deux parties concernées : le terminal mobile et le réseau. En fait, c'est le réseau qui s'occupe de prendre la décision de handover mais en se basant sur des informations et des mesures reçues de la part du terminal mobile. C'est le cas avec le système GSM.

3.2.4 Handover assisté par le réseau (NAHO)

Dans le cas de handover assisté par le réseau, la décision finale de handover est également prise grâce à une participation conjointe du terminal et du réseau. Mais, dans ce cas, c'est le réseau qui combine des informations nécessaires à la décision de handover et les envoie au terminal mobile pour être utilisées lors de la décision de handover. Donc et contrairement au handover assisté par le mobile, c'est le terminal mobile qui a la responsabilité de prendre la décision finale de handover utilisant des informations envoyées de la part du réseau concerné.

Dans le domaine hétérogène, un grand nombre d'utilisateurs avec des différents types de terminaux, des différentes valeurs de préférences et de métriques de choix sont prévus. Donc, le contrôle de handover par le réseau tout seul ou à l'aide des informations reçues de la part des terminaux mobiles devient très difficile et augmente la complexité au niveau du réseau. En outre, des informations concernant les paramètres précis des réseaux disponibles sont indispensables. En conséquence, le processus de handover vertical dans le domaine hétérogène doit être contrôlé par le terminal mobile et supporté par les réseaux participants [66]. Cette approche appelée "user-centric approach" est basée sur l'utilisateur. Elle nécessite un terminal mobile capable d'identifier les réseaux disponibles et de prendre des décisions correctes de handover en respectant les caractéristiques des réseaux disponibles et les propres préférences de l'utilisateur. Le problème le plus difficile dans ce domaine est le choix correct de réseau approprié parmi ceux disponibles. La résolution de ce problème peut évidemment affecter les performances du système hétérogène. En conséquence, la stratégie de sélection devient une étape cruciale dans l'environnement hétérogène affectant les performances du système en plus à son rôle important d'assurer la connexion avec le meilleur réseau possible. Dans les sections suivantes, nous nous intéressons à présenter les développements récents de la stratégie de sélection ainsi que les principaux facteurs considérés pour évaluer ses performances.

3.3 Stratégies de sélection du réseau

Au sein du système hétérogène, une large gamme de services est toujours disponible pour les utilisateurs et plusieurs réseaux d'accès peuvent être exploités pour accéder à ces services. Comme illustré par la figure 3.1, l'utilisateur peut choisir n'importe quel réseau disponible pour effectuer ses services. La stratégie de sélection du réseau est le processus de choix du meilleur réseau d'accès parmi les autres disponibles. Le réseau d'accès sélectionné doit respecter à la fois les propres préférences de l'utilisateur et les caractéristiques des réseaux disponibles.

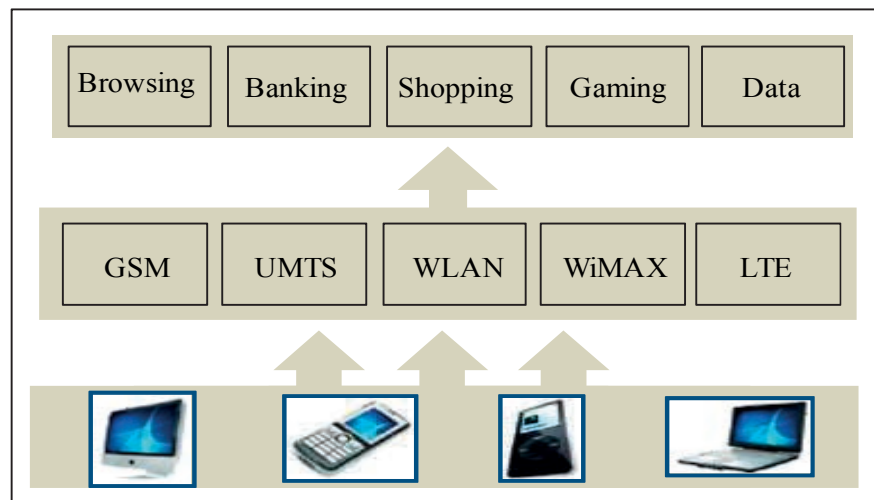


Figure 3.1 - Environnement du réseau hétérogène sans fil.

La technique de sélection du réseau dans un système hétérogène permet d'évaluer normalement un grand nombre de critères concernant la capacité du terminal mobile, les contraintes des utilisateurs, le type d'application et les paramètres des réseaux. Ceci implique des compromis et d'autres considérations plus complexes lors de la décision. Dans la littérature, beaucoup de stratégies de sélection ont été proposées et analysées [67][68][69]. Nous allons présenter dans la suite un état de l'art sur les caractéristiques communes de ces stratégies et les regrouper en quatre groupes suivant les métriques de choix considérées et les mécanismes suivis pour prendre une décision.

3.3.1 Stratégies basées sur une seule métrique de choix

Dans ce groupe, la sélection d'un réseau est basée sur la valeur présentée par le réseau pour une des métriques de choix les plus importantes. Les algorithmes traditionnels de sélection sont basés sur la puissance du signal reçu (RSS). Plusieurs conditions ont été prises en compte pour améliorer de la décision de ces algorithmes [70][71] : la décision selon la valeur estimée de RSS ($P_2 > P_1$), la décision selon la valeur estimée de RSS avec une limite ($P_2 > P_1$ et $P_1 < T$), la décision selon la valeur estimée de RSS avec une hystérésis ($P_2 > P_1 + H$), la décision selon la valeur estimée de RSS avec à la fois une hystérésis et une limite ($P_2 > P_1 + H$ et $P_1 < T$), et finalement la décision selon la valeur estimée de RSS avec un compteur. Dans le dernier cas, l'exécution de handover est réalisée dans le cas où l'on garde la même décision pendant une durée de temps déterminée par le compteur. Une limite et une hystérésis peuvent être également intégrées. En général, les stratégies basées sur la valeur estimée de la puissance du signal reçu ont trois grands inconvénients : Premièrement, ces stratégies ne prennent pas en compte l'interférence arrivant des stations de base (ou AP) voisines ce qui conduit dans quelque cas à des décisions incorrectes. Deuxièmement, les préférences des utilisateurs ne sont pas prises en considération par ces stratégies. Le troisième inconvénient tient du fait que ces stratégies ne donnent aucune importance à la répartition du trafic entre les réseaux disponibles ou à la congestion

obtenue au sein du système. Un autre facteur pris en compte comme une métrique de décision est la consommation d'énergie [72]. Ce facteur représente une des préférences principales des utilisateurs en cas de fonctionnement avec une batterie faible. Les auteurs en [72] ont proposé une stratégie de sélection de réseau qui prend en compte la consommation d'énergie des terminaux mobiles (MT). Selon cette stratégie, le MT préfère être connecté au réseau qui exige la plus faible consommation d'énergie de terminal mobile. Cette stratégie est intéressante pour éviter que le terminal mobile fonctionne avec une batterie faiblement chargée. La bande passante disponible du réseau a été également proposée comme un facteur de choix du réseau cible dans un environnement hétérogène. Dans [73], M. Stemm et al. ont considéré la bande passante disponible comme seul facteur pris en compte pour choisir le réseau cible. Un utilisateur sélectionne le réseau avec une occupation la plus faible de la bande passante afin d'effectuer sa communication. Ces stratégies permettent de balancer le trafic entre les réseaux disponibles. En revanche, un des inconvénients des stratégies basées sur l'occupation de la bande passante est qu'elles ne tiennent pas compte à la qualité de connexion. Le terminal choisit le réseau qui a une occupation la plus faible de la bande passante quelle que soit la puissance du signal reçu à partir de ce réseau. En fait, le problème principal dans toutes les stratégies précédemment mentionnées et qu'elles ne considèrent qu'un seul facteur de choix est que l'interférence en provenance d'autres réseaux n'est pas prise en compte. Ceci pourrait affecter la puissance du signal reçu conduisant à un changement dans la décision concernant le meilleur réseau approprié. Le rapport signal à interférence plus bruit (SINR) a été introduit comme seul critère de décision de handover vertical dans les travaux présentés en [74][75][76]. Ces stratégies prennent en compte à la fois la puissance de signal reçu ainsi que l'interférence arrivant des stations voisines. Elles permettent d'éviter des décisions incorrectes des stratégies basées sur RSS (Received Signal Strength) à cause de l'interférence. Une évaluation et comparaison des performances de système hétérogène considérant les stratégies de sélection : Basée sur la bande passante disponible (TBNS), basée sur la puissance de signal reçu (RSNS) et basée sur la valeur de SINR (SINS) seront présentées dans les chapitres suivants.

3.3.2 Stratégies basées sur la fonction de coût (ou d'utilité)

Dans ce groupe, la sélection d'un réseau est réalisée en se basant sur une fonction mathématique de coût. Celle-ci combine normalement plusieurs métriques de choix du réseau tels que la puissance du signal reçu, le prix d'un service, la bande passante et la consommation d'énergie. Différentes pondérations sont assignées aux différentes métriques de choix en fonction des conditions du réseau et des préférences de l'utilisateur. La valeur numérique en sortie de la fonction de coût est calculée pour chacun de réseaux disponibles et la décision est réalisée en comparant ces coûts pour tous les réseaux candidats. La forme générale de la fonction de coût du réseau i est donnée par [77] :

$$F_i = \sum_s \sum_j w_{s,j} * f_i(x_{s,j}) \quad (1)$$

où $w_{s,j}$ est le poids (préférence) attribué à l'utilisation du facteur de choix j pour effectuer un service s . La préférence est une valeur relative que les utilisateurs attribuent à chaque critère de choix en fonction de leurs besoins sachant que $\sum_j w_j = 1$, $x_{s,j}$ est la valeur du facteur de choix j d'un service s , $f_i(x_{s,j})$ est une fonction normalisée qui donne le coût du facteur de choix j pour effectuer un service s présenté par le réseau i . Différentes fonctions normalisées ont été proposées pour mieux atteindre la satisfaction de l'utilisateur [78].

Une autre forme de la fonction de coût du réseau i peut être également donnée par :

$$F_i = \prod_s \prod_j (f_i(x_{s,j}))^{w_{s,j}}. \quad (2)$$

Suivant ces stratégies de sélection, toutes les applications actives ainsi que le coût de chaque réseau disponible suivant ces applications seront identifiés. Finalement, le réseau ayant le plus bas coût est choisi comme réseau cible. Il faut noter que dans un certain nombre de travaux, les termes des fonctions d'utilité sont utilisés pour évaluer les réseaux sans fil accessibles. Ce sont des fonctions similaires aux fonctions de coûts par lesquelles le réseau choisi est le réseau qui l'a une valeur d'utilité la plus élevée. Des exemples des stratégies basées sur la combinaison de plusieurs métriques de choix sous la forme d'une fonction de coût (ou d'utilité) sont présentés par les travaux [79][50][80]. Les auteurs de [79] ont défini une fonction de coût d'utilisation d'un réseau en termes de coût monétaire, de la consommation d'énergie et de la bande passante disponible. Cette fonction est la somme d'une forme normalisée pondérée de ces trois paramètres. Le réseau ayant la plus faible valeur de la fonction de coût est choisi comme le réseau cible. Trestian et al. ont proposé dans [50] la stratégie de sélection de réseau "power-friendly" pour les applications en temps réel. Ils ont défini une fonction d'utilité d'un réseau par la combinaison de quatre facteurs de choix : la consommation d'énergie, la qualité de service, le coût monétaire et la mobilité des utilisateurs. Grâce à cette stratégie, l'utilisateur sélectionne le réseau consommant le moins d'énergie afin d'éviter le fonctionnement du portable en manque de batterie, et en même temps de maintenir des niveaux acceptables de la qualité attendue par l'utilisateur. Dans la stratégie de sélection proposée en [80], les auteurs ont considéré également une fonction d'utilité basée sur la combinaison entre la bande passante disponible et de la puissance du signal reçue. Cette stratégie permet d'avoir un compromis entre la répartition du trafic au sein des réseaux et du niveau de la puissance du signal reçu, qui sont très importants pour les systèmes et les utilisateurs.

3.3.3 Stratégies basées sur la logique floue (fuzzy logic)

Ces stratégies sont souvent intéressantes pour intégrer un grand nombre de métriques de choix, en comparaison avec les stratégies déjà mentionnées, pour la sélection d'un réseau.

Il est généralement très difficile ou impossible de mettre des formulations analytiques de la décision de choix lorsqu'un grand nombre d'entrées sont utilisées [68]. Fuzzy logic est une des solutions proposées dans ce cas. C'est une technique utilisée pour prendre, à partir des paramètres d'entrée, une décision concernant le réseau désiré. L'avantage de la logique floue est la possibilité de prendre en compte un grand nombre de paramètres et de donner la meilleure solution possible pour la décision de handover. En se basant sur la logique floue, la sélection d'un réseau peut être faite en passant par trois étapes principales : Fuzzification, Fuzzy inference system, Defuzzification.

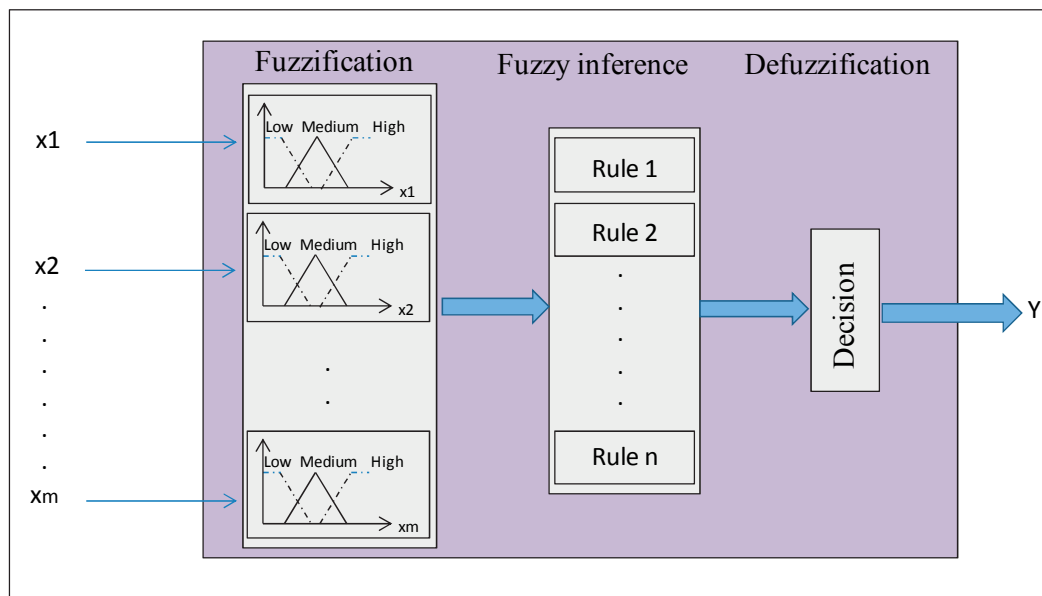


Figure 3.2 - Décision de handover basée sur la logique floue (fuzzy logic).

Dans la première étape, Fuzzification, les paramètres d'entrée (métriques de choix) sont comparés avec des valeurs normalisées en utilisant des fonctions spécifiques. Chacun des paramètres d'entrée est affecté à l'un des sous-ensembles flous en utilisant des fonctions d'appartenance (membership functions). Les ensembles de flous en sortie de cette étape peuvent être par exemple : faible, moyen et élevé. Dans la deuxième étape, Fuzzy inference system, certaines règles "if-then" sont définies pour analyser et évaluer les ensembles de flous correspondant aux paramètres d'entrée. Le résultat en sortie de cette étape peut être un facteur indiquant la nécessité de handover ainsi que le réseau choisi. A partir de la valeur obtenue en fonction de ce facteur, la décision est prise pour passer la connexion entre les différents réseaux disponibles. Des exemples des stratégies de sélection basées sur la logique floue sont les travaux présentés en [81][82][83]. Les auteurs en [81] ont proposé un modèle de décision pour améliorer la qualité de service dans les réseaux sans fil hétérogènes. La décision est basée sur des déclencheurs générés par des différentes couches en utilisant des règles de la logique floue. En [82], une stratégie de sélection basée sur la logique floue a été également proposée. Cette stratégie a été introduite afin d'évaluer les décisions prises par les terminaux mobiles lorsque les

utilisateurs se déplacent dans une zone couverte par deux types de réseaux : WLAN et TD-SCDMA. Les auteurs dans ce travail ont considéré quatre métriques de choix données : la puissance du signal reçu, la bande passante du réseau, le coût monétaire et le mode de préférence. Ces métriques sont normalisées et ensuite comparées avec des fonctions d'appartenance pour être affectées à un des trois ensembles de flous : faible, moyen et élevé. En appliquant des règles de comparaison "if-then", un facteur dans le domaine $[1, 10]$ est généré indiquant la nécessité de passer de la connexion du réseau WLAN à TD-SCDMA, la nécessité de passer de la connexion du réseau TD-SCDMA à WLAN ou la nécessité de garder la connexion avec le réseau actuel. Dans le travail présenté en [83], les auteurs ont introduit un algorithme adaptatif multicritères pour la décision de handover vertical basé aussi sur la logique floue. Les auteurs ont considéré à la fois la bande passante disponible du réseau, la vitesse de l'utilisateur ainsi que le nombre des utilisateurs au sein du réseau comme des trois critères de choix. A partir de 27 règles if-then proposées, une valeur dans le domaine $[0, 1]$ est produite et comparée ensuite à un seuil prédéfini afin de déterminer de la nécessité de changer de réseaux.

3.3.4 Stratégies basées sur les réseaux de neurones artificiels

En plus de la logique floue, les réseaux de neurones artificiels sont également utilisés comme une solution pour la sélection d'un réseau dans un environnement hétérogène dès qu'on a un grand nombre de paramètres d'entrée. Des techniques d'apprentissage automatique pour formuler les processus de la sélection sont utilisées. En utilisant les processus d'apprentissage continu, les systèmes peuvent surveiller leur rendement et modifier leur propre structure pour créer des algorithmes de décision très efficaces [68]. Des exemples d'application de cette approche dans le réseau hétérogène peuvent être trouvés dans les travaux présentés en [83][84][85]. Les auteurs en [83], ont adopté un réseau de neurones Elman modifié pour la prédiction du nombre des utilisateurs et utilisent la sortie de la prédiction comme une entrée à l'algorithme adaptatif multicritères de décision. La stratégie de sélection présentée en [83] intègre donc à la fois le réseau de neurones artificiel et la logique floue pour choisir le réseau cible. Le premier est utilisé pour la prédiction du nombre des utilisateurs au sein du réseau et le deuxième pour analyser les métriques de choix considérées à l'entrée et donner la décision finale. En [84], le réseau de neurones artificiel a été également proposé comme une base de décision de handover vertical pour répondre aux besoins des utilisateurs en termes de la bande passante. Le réseau de neurones a été utilisé uniquement pour décider du transport de la connexion à partir du réseau sans fil WLAN vers le réseau cellulaire GPRS. L'architecture proposée est composée de quatre couches principales : une couche d'entrée, deux couches intermédiaires et une couche de sortie. Le réseau de neurones détecte la dégradation de niveau de la puissance et prend une décision à partir de la connexion avec le réseau approprié. A l'entrée du réseau de neurones, cinq valeurs de la puissance de signal reçu du point d'accès en cours sont évaluées par le terminal mobile et à la sortie une valeur binaire indiquant la nécessité d'effectuer de handover vers le réseau cellulaire ou l'importance de garder la

connexion au point d'accès en cours. Des réseaux de neurones en multicouches ont été également utilisés en [83] pour déterminer le meilleur réseau sans fil disponible en fonction des préférences de l'utilisateur. L'identifiant du réseau cible est généré en sortie du réseau neural suivant les préférences des utilisateurs données en termes de : coût des services, niveau de sécurité, consommation d'énergie, bande passante et type de réseau sans fil. Dans ce travail, l'appareil mobile recueille les caractéristiques des réseaux sans fil disponibles et les envoie à un middleware appelé le gestionnaire à travers des liens existants. En fin de processus, l'utilisateur est informé du meilleur réseau parmi tous les candidats.

Nous avons présenté un état de l'art sur les approches principales de sélection d'un réseau dans le domaine hétérogène. Toutes ces stratégies ont été proposées pour assurer une connexion avec le meilleur réseau disponible. On doit noter que les stratégies basées sur une seule métrique sont généralement simples mais elles ne tiennent pas compte qu'à un des paramètres de choix. En revanche, les stratégies de sélection qui sont basées sur les fonctions de coût (ou d'utilité), la logique floue ou les réseaux de neurones artificiels combinent des paramètres de choix de réseaux plus large. Cependant, ces stratégies sont souvent utilisées dans la phase d'analyse théorique parce qu'elles sont encore trop complexes pour une mise en œuvre. Dans la section suivante, nous allons présenter un exemple de choix d'un réseau dans un système hétérogène montrant les influences de chacun des critères de choix sur les performances du système.

3.4 Exemple de choix basé sur la fonction d'utilité

Nous allons présenter dans cette partie un exemple illustrant la décision de choix d'un réseau suivant une stratégie de sélection basée sur l'approche d'utilité. La fonction d'utilité considérée combine trois des métriques de choix proposées dans la littérature : la consommation d'énergie, la puissance du signal reçu et la bande passante disponible. Pour ce travail, la décision de choix d'un réseau est supposé être effectuée par le terminal mobile en se basant sur : les préférences des utilisateurs aux trois métriques de choix prises en compte dans la fonction d'utilité, les valeurs estimées pour la consommation d'énergie de l'application, la puissance du signal reçu ainsi que les informations annoncées par les réseaux en termes de la bande passante disponible. Le terminal mobile identifie, périodiquement ou lorsqu'un nouveau réseau est détecté dans la zone de service, les caractéristiques des réseaux disponibles en termes des métriques de choix considérées ainsi que les préférences introduites par l'utilisateur. Ensuite et en se basant sur les valeurs obtenues en sortie de la fonction d'utilité pour chacun des réseaux disponibles, le terminal détermine le réseau approprié. Ensuite, le terminal mobile crée un message contenant une demande de handover et l'envoie aux deux réseaux concernés pour pouvoir se connecter au nouveau réseau choisi. La fonction d'utilité adoptée dans ce travail est donnée par l'équation suivante :

$$U^i = (U_e^i)^{w_e} * (U_s^i)^{w_s} * (U_b^i)^{w_b} \quad (3)$$

ou U^i est la fonction d'utilité total du réseau i et U_e^i , U_b^i , U_s^i , sont respectivement des fonctions d'utilités définies pour la consommation d'énergie, la puissance de signal reçu et la bande passante disponible. De plus, w_e , w_s , w_b sont les poids de pondération (préférences de l'utilisateur) pour les métriques de choix considérées dans la fonction d'utilité sachant que : $w_e + w_s + w_b = 1$. Nous définissons dans la suite chacune des fonctions d'utilité des trois métriques de choix adoptées.

3.4.1 Fonction d'utilité de l'énergie

La consommation d'énergie représente une des principales métriques préférées des utilisateurs en cas de fonctionnement avec une batterie faiblement chargée. En fait, la consommation d'énergie est différente selon le type d'application exécutée. Nous considérons dans notre travail les deux principaux types de communication de données : des communications transportées sous le protocole UDP (User Datagram Protocol) tels que la vidéo et la voix sur IP et des communications faites sous le protocole FTP (File Transfer Protocol) tels que le téléchargement des documents d'Internet. Pour le premier type d'applications, la durée estimée de la session est donnée (la durée d'un film). En revanche, avec le deuxième type d'applications, la durée de la session ne peut pas être estimée mais la quantité de données à télécharger est évidemment connue (le volume de document à télécharger). C'est pourquoi, la consommation d'énergie pour les deux applications de type UDP et FTP peut être respectivement calculée par les équations suivantes [86] :

$$E_{UDP} = t * [r_t + R_{req} * r_d] + c \quad (4)$$

$$E_{FTP} = d * [r_t / R_{cur} + r_d] + c \quad (5)$$

où E_{UDP} , E_{FTP} sont respectivement les valeurs estimées de la consommation totale d'énergie pour une application de type UDP (Joule) et de type FTP (Joule), t est la durée de la communication (sec), r_t est le taux de la consommation d'énergie par une unité de temps (watt), R_{req} est le débit binaire requis (kbps), r_d est le taux de la consommation d'énergie par des flux des données reçues (Joule/KByte), c est une constant. De plus, d est la quantité de données (KByte) et R_{cur} est le taux actuel disponible de débit binaire (kbps).

Nous considérons une fonction normalisée pour déterminer la valeur d'utilité d'un réseau i du point de vue de la consommation d'énergie. Elle est donnée par :

$$U_e^i = 1 - \frac{E - E_{min}}{E_{max} - E_{min}} \quad (6)$$

où E_{min} , E_{max} sont respectivement la consommation d'énergie minimale et maximale nécessaires pour terminer l'application en cours d'exécution.

3.4.2 Fonction d'utilité de la puissance du signal reçu

La puissance du signal reçu est un facteur indiquant la qualité de connexion en cours d'exécution. Une faible valeur de la puissance reçue par un terminal à partir d'un réseau donné indique que la connexion est fragile et dans quelques cas peut être coupée. Donc, une valeur plus élevée de la puissance reçue est préférable par les utilisateurs. Dans notre travail, nous considérons cette valeur comme une des métriques de choix. Nous supposons que l'utilité accompagnée à ce facteur est directement proportionnelle à l'augmentation de la puissance reçue. La fonction d'utilité considérée pour évaluer le niveau de la puissance de signal reçu par plusieurs types de réseaux qui peuvent être disponibles dans l'environnement hétérogène est donnée par l'équation suivante [80] :

$$U_s^i = \frac{P_i^c - P_i^{th}}{P_i^{max} - P_i^{th}} \quad (7)$$

où P_i^c est la puissance du signal reçu à partir du réseau i , P_i^{th} est le seuil de la puissance du signal reçu du réseau i et P_i^{max} est la puissance maximale du signal transmis par la station de base (ou le point d'accès) du réseau i .

La puissance de signal reçu à partir d'un réseau est reliée avec la distance qui sépare le terminal mobile de l'utilisateur de la station de base ainsi que le type de canal de propagation entre eux. En général, la puissance du signal reçu par un utilisateur à partir de la station de base (ou point d'accès) du réseau i peut être donnée par :

$$P_i^c = P_i^{max} - 10\gamma \log(r_i) \quad (8)$$

où r_i est la distance entre le terminal mobile et la station de base (ou AP) du réseau i , et γ est le facteur d'évanouissement du canal.

Le seuil de la puissance du signal reçu du réseau i est supposé être calculé à la frontière de la cellule couverte par ce réseau. En supposant que R_i est le diamètre de la cellule couverte par le réseau i , le seuil de la puissance du signal reçu du réseau i peut être calculé par l'équation (8) en remplaçant la distance r_i par le diamètre de la cellule. En conséquence, la fonction finale définie pour évaluer l'utilité d'un réseau en termes de la puissance de signal reçu peut être réécrite par l'équation suivante :

$$U_s^i = 1 - \frac{\log(r_i)}{\log(R_i)} \quad (9)$$

3.4.3 Fonction d'utilité de la bande passante

Contrairement aux deux précédents facteurs qui intéressent les utilisateurs, la bande passante disponible est un facteur important pour à la fois les utilisateurs et les opérateurs (réseaux). Du point de vue de l'utilisateur, cette métrique de choix lui permet d'éviter les réseaux occupés. En revanche, et du point de vue des opérateurs ce facteur aide à équilibrer le trafic entre les réseaux disponibles et éviter la congestion dans certaines parties du système hétérogène. En fait, l'utilité du réseau reliée à la bande passante augmente proportionnellement avec l'augmentation de la partie de bande passante disponible en comparaison avec la bande passante totale du réseau proposé. Dans notre travail, nous ne nous intéressons pas à la largeur de la bande passante allouée à l'utilisateur mais juste au pourcentage de la bande passante qui n'est pas encore utilisée. C'est pourquoi, nous indiquons par une unité de bande passante la partie minimale allouée par le réseau à un utilisateur. De plus, nous supposons que chaque réseau a un nombre total d'unités de bande passante qui peuvent être allouées aux utilisateurs pour effectuer leurs services. Chacune de ces unités ne peut servir qu'un seul utilisateur en même temps. En conséquence et pour indiquer le niveau de disponibilité du réseau (moins d'occupation), nous considérons la fonction suivante pour montrer l'utilité d'un réseau du point de vue des unités de bande passante disponibles :

$$U_B^i = 1 - \frac{L_i}{B_i} \quad (10)$$

où L_i est le nombre d'unités de bande passante occupées du réseau i et B_i est le nombre total d'unités de bande passante du réseau i .

3.4.3.1 Paramètres de simulation

A partir de la fonction d'utilité définie par l'équation (3), nous allons montrer un exemple illustrant comment un utilisateur mobile choisit un réseau dans un environnement hétérogène. Pour cela, nous allons considérer une cellule couverte par un réseau mobile UMTS. Deux autres réseaux de types WLAN couvrent plusieurs parties de la cellule étudiée. Les paramètres des réseaux ainsi que les valeurs de taux de consommation d'énergie pour chacun des réseaux disponibles [86] sont illustrés dans le tableau 3.1. Dans ce travail, nous supposons qu'un grand nombre d'utilisateurs sont distribués aléatoirement dans la zone de service étudiée. De plus, nous supposons qu'un groupe d'utilisateurs se déplacent (à pied) du premier côté de la zone étudiée à l'autre côté. Les utilisateurs dans la zone de service visent à choisir le réseau le plus adapté pour regarder une vidéo sur Internet sachant que la durée estimée de cette vidéo est de 20 minutes. Les exigences des débits binaires de l'application en cours sont [50] : $R_{min} = 64$ kbps, $R_{req} = 128$ kbps, $R_{max} = 256$ kbps pour le réseau cellulaire UMTS et $R_{min} = 512$ kbps, $R_{req} = 1024$ kbps, $R_{max} = 6144$ kbps pour les réseaux WLAN.

Tableau 3.1 - Paramètres de réseaux disponibles.

Type de réseau	Paramètres		
UMTS	Diamètre de Cellule (m)		1000
	Distance avec l'origine (m)		1000
	Fréquence porteuse (MHz)		2000
	Débit binaire down. (kbps)		384
	Débit binaire up. (kbps)		128
	Bande passante (unités)		20
	FTP	r_t (watt)	0.86589
		r_d (joule/kbyte)	0.00362
	UDP	r_t (watt)	0.86687
r_d (joule/kbyte)		0.00154	
WLAN1	Diamètre de Cellule (m)		150
	Distance avec l'origine (m)		1400
	Fréquence porteuse (MHz)		2400
	retard (ms)		45
	Bande passante (unités)		5
	FTP	r_t (watt)	0.63903
		r_d (joule/kbyte)	0.000409
	UDP	r_t (watt)	0.62815
		r_d (joule/kbyte)	0.000412
WLAN2	Diamètre de Cellule (m)		200
	Distance avec l'origine (m)		1700
	Fréquence porteuse (MHz)		2400
	retard (ms)		65
	Bande passante (unités)		6
	FTP	r_t (watt)	0.10359
		r_d (joule/kbyte)	0.00465
	UDP	r_t (watt)	0.07827
		r_d (joule/kbyte)	0.00202

Puisqu'il y a plusieurs types de réseaux disponibles lors du parcours des utilisateurs, plusieurs décisions de choix et de handovers entre les réseaux seront effectuées. Les utilisateurs choisissent le réseau le plus adapté suivant leurs propres préférences aux trois métriques prises en compte dans la fonction d'utilité. Nous allons simuler les comportements des utilisateurs situés dans la zone de services en évaluant leurs réseaux de prédilection pour chaque partie de la zone de service proposée. Deux groupes des

préférences des utilisateurs seront analysés afin de montrer l'influence des valeurs de préférences sur les décisions de choix des réseaux. Le programme qui permet de simuler les comportements des terminaux mobiles suivant les réseaux disponibles dans la zone de service proposée est développé sous le logiciel Matlab.

Nous supposons dans la simulation effectuée dans la section suivante que les unités de bandes passantes occupées dans les trois réseaux sont respectivement : 15, 2 et 1. Cela veut dire qu'avant la simulation, 15 utilisateurs sont servis par le réseau UMTS, deux utilisateurs sont servis par le réseau WLAN1 et un seul utilisateur utilise le réseau WLAN2 pour effectuer son service.

3.4.3.2 Décision de handover et sélection du réseau

Dans cette section, nous allons simuler les comportements des utilisateurs ainsi que les décisions de handover pour deux différentes valeurs des préférences. La simulation est réalisée pour des déplacements des utilisateurs entre le début de la cellule UMTS jusqu'à la fin (c'est à dire toute la zone de service proposée). Tout d'abord, nous supposons que les profils des utilisateurs en cours d'utilisation pour le mécanisme de sélection de réseau comprend les paramètres suivants : $w_e = 0.6$, $w_b = 0.2$, $w_s = 0.2$. Nous remarquons que les utilisateurs dans ce cas donnent une grande importance à la consommation d'énergie. Cela peut être rencontré en cas de fonctionnement en mode de la conservation d'énergie à cause d'une batterie faiblement chargée. De l'autre côté, de faibles valeurs sont allouées à la puissance de signal reçu et à la disponibilité de bande passante dans les réseaux. L'utilisateur n'est pas beaucoup intéressé par la qualité de la connexion de l'appel ou à l'occupation de réseau. Ce qui l'intéresse est de garder son terminal mobile en fonctionnement le plus longtemps possible. La figure 3.3 montre les valeurs d'utilité obtenues de chacun des terminaux mobiles des utilisateurs situés dans la zone de service pour les trois réseaux disponibles.

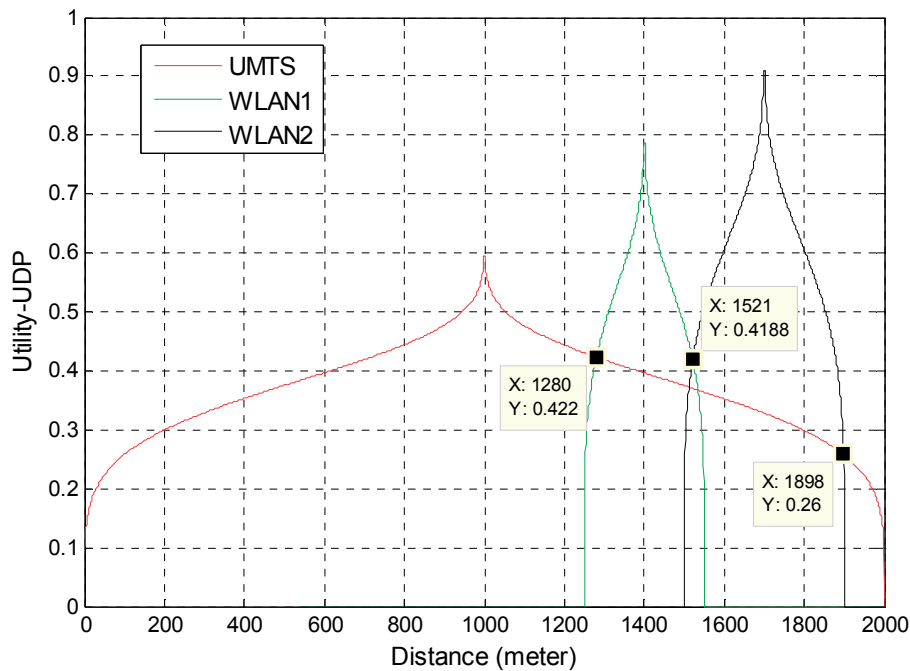


Figure 3.3 – Simulation 1 : valeurs d'utilité et choix du réseau.

Dans la zone de service étudiée, les utilisateurs qui sont situés dans la région couverte uniquement par le réseau UMTS, seront servis par ce réseau car ils n'ont pas d'autres choix. Donc, l'utilisation de ce réseau est obligatoire dans cette partie de la zone de service. En revanche, dans les zones couvertes par plusieurs réseaux, le choix de réseau est fait en se basant sur la stratégie de sélection proposée. Dans ces zones, l'utilisateur choisit le réseau qui a la valeur d'utilité la plus élevée. A partir de la figure 3.3, nous pouvons remarquer que la zone de service totale peut être divisée en trois parties. Les utilisateurs situés dans la première et quatrième partie ont l'envie d'être servis par le réseau UMTS. En revanche, les utilisateurs situés dans la zone deux et trois préfèrent d'être servis respectivement par les réseaux WLAN1 et WLAN2. Donc, en supposant qu'un utilisateur passe linéairement par la zone de service du début jusqu'à la fin, trois processus de handover peuvent être réalisés. Le premier est effectué jusqu'à une distance de 280 mètres de l'origine lorsque l'utilité du réseau WLAN1 devient plus grande de celle du réseau cellulaire UMTS. Le deuxième est effectué à une distance de 1521 mètres après une comparaison entre les trois réseaux qui couvrent cette partie de la zone de service. La décision sera pour transporter de la communication vers le réseau WLAN2. Le dernier est fait à la distance de 1898 mètres où l'utilité de réseau UMTS devient plus grande que celle de WLAN2.

Dans la deuxième simulation, nous allons considérer d'autres valeurs des préférences et analyser leurs influences sur la décision du choix de réseau dans le système hétérogène étudié. Nous supposons que les préférences des utilisateurs en cours d'utilisation pour le mécanisme de sélection de réseau de la deuxième simulation ont changé vers les nouveaux paramètres suivant : $w_e = 0.2$, $w_b = 0.6$, $w_s = 0.2$. L'utilisateur dans ce contexte donne plus d'importance pour la disponibilité de bande passante dans les réseaux disponibles et

moins d'importance pour la qualité de connexion ou la consommation d'énergie. L'utilisateur préfère être servi par le réseau qui est moins occupé afin d'éviter des problèmes accompagnés à la congestion au sein du réseau. Nous allons refaire les calculs des valeurs d'utilité pour chacun des réseaux disponibles suivant les nouvelles valeurs de préférence. Les nouveaux résultats obtenus sont illustrés sur la figure 3.4.

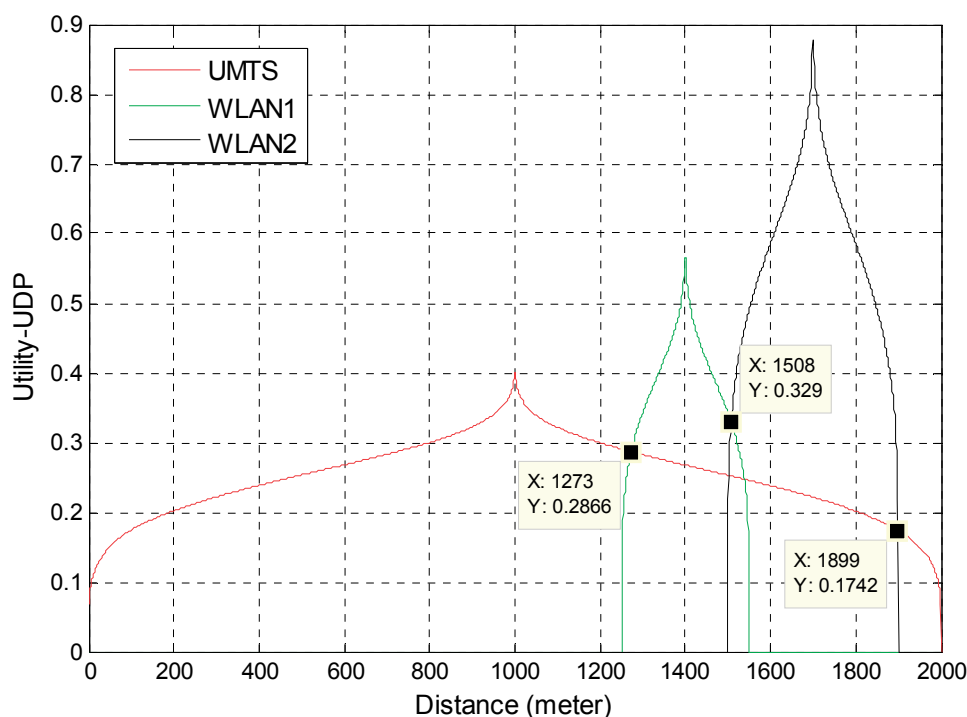


Figure 3.4 – Simulation 2 : valeurs d'utilité et choix du réseau.

A partir de la figure 3.4, nous pouvons remarquer que la zone de service est toujours divisée en quatre parties mais les limites séparant entre les parties ont légèrement varié. On peut noter par exemple que la partie de la zone de service dans laquelle les utilisateurs préfèrent être servis par le réseau WLAN2 a augmenté. En comparaison avec la première simulation, les utilisateurs situés dans la zone prolongée entre 1508 et 1521 vont choisir le réseau WLAN2 au lieu du réseau WLAN1. En conséquence, l'intensité des appels désirant d'effectuer leurs services par ce réseau devient plus grand ce qui peut influencer dans quelques cas les performances du système hétérogène (Probabilités de blocages par exemple). Donc, en changeant des préférences des utilisateurs, les décisions de choix ou de handover sont directement affectées conduisant aux nouvelles distributions des utilisateurs entre les réseaux disponibles. En conséquence, des variations en termes des performances de système peuvent être accompagnées. D'autres facteurs peuvent également affecter les performances de système hétérogène tels que les positions des cellules dans la zone de service ainsi que le modèle de mobilité suivis. Nous voulions montrer uniquement l'influence éventuelle des préférences des utilisateurs pour chacun des critères de choix sur le système étudié (pour les mêmes positions des cellules et même type de mobilité). Nous

présentons dans la section suivante les principaux paramètres qui peuvent être analysés pour évaluer les performances du système hétérogène basé sur une des stratégies de sélection du réseau mentionnées précédemment.

3.5 Paramètres d'évaluation des performances

L'évaluation des performances d'un système hétérogène est une étape importante pour juger l'efficacité de la stratégie de sélection adoptée. En plus au niveau de la complexité accompagnée, les stratégies de sélection ou les algorithmes de handover peuvent également être évalués en plusieurs façons. Nous allons détailler les différents paramètres qui peuvent être mesurés afin d'estimer les performances d'un système hétérogène basé sur une stratégie de sélection donnée : le retard, le nombre de handovers, le débit binaire, la taux d'erreurs binaires, la qualité de connexion des appels, les probabilités de blocage des appels et les probabilités de défaillance des appels.

3.5.1 Le retard

Le retard est la durée du temps qui sépare entre le déclenchement et la terminaison du processus de handover. Cette valeur devient plus importante pour les applications sensibles au retard tels que la voix ou les sessions multimédia [68]. Une grande valeur du retard peut dégrader la qualité de l'appel et dans quelques cas couper la conversation en cours. Il est donc important de garder une réaction rapide de transfert de la connexion entre les réseaux concernés ce qui permet de garder la session en cours sans aucune perturbation notable au niveau de la qualité de service. Plusieurs facteurs peuvent influencer la durée du retard tels que le nombre de métriques de choix considérés, le nombre de réseaux disponibles ainsi que la complexité de la stratégie de sélection adoptée. En général, des stratégies de sélection (ou des algorithmes de handover) avec une valeur minimale de retard accompagné de la décision sont préférables dans le domaine hétérogène.

3.5.2 Nombre de handovers

Le nombre de handover est un terme indiquant le nombre de transferts effectués au cours d'un appel pendant le déplacement d'un utilisateur entre les réseaux disponibles au sein de la zone de service. Dans quelques cas, des fluctuations rapides sur la puissance de signal reçu peuvent se produire, conduisant à une confusion pour la décision de handover. En conséquence, plusieurs décisions de transfert de l'appel entre les stations de base voisines dans les deux directions peuvent être réalisées. Le phénomène de répétition de handover entre deux stations de bases (ou AP) est connu sous le nom de l'effet ping-pong. De plus, la connexion peut revenir au même point d'accès après une certaine durée de temps conduisant à un gaspillage des ressources de réseaux (signalisation entre les réseaux concernés). En conséquence, la réduction du nombre superfétatoire de handover est un point intéressant pour maintenir des ressources de réseaux. Généralement, une meilleure stratégie de sélection est celle qui minimise le nombre de handover inutile.

3.5.3 Débit binaire

Le débit binaire est un terme important indiquant le débit moyen de données présenté aux utilisateurs par les réseaux disponibles dans la zone de service (le système hétérogène). En général, le débit binaire présenté à un utilisateur est relié directement au niveau SINR, à la bande passante allouée ainsi que le type de modulation considérée. D'autres facteurs peuvent affecter le débit moyen de données. Le choix de réseau selon quelques métriques peut jouer un rôle important dans la favorisation du débit moyen de données au sein du système hétérogène en comparaison avec celui obtenu à partir d'autres métriques. En conséquence, pour la même bande passante et le même type de modulation, les stratégies de sélection peuvent conduire à augmenter ou diminuer le débit binaire de données. Une stratégie de sélection conduisant à un débit de données plus élevé est évidemment souhaitable.

3.5.4 Taux d'erreurs binaires

Le taux d'erreurs binaires est défini comme le rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre total des bits transférés. Ce facteur représente une indication importante à la fiabilité de la communication en cours. En général, la valeur du taux d'erreurs binaires est directement reliée à la valeur reçue en termes du rapport du signal à bruit plus interférence (SINR). La réduction maximale de la valeur des bits erronés est un but souhaitable dans les stratégies de sélection.

3.5.5 La qualité de connexion des appels

La qualité de connexion est un terme qualificatif utilisé pour indiquer la fiabilité de la communication en termes de qualité de service. Ce terme est également relié directement à la valeur moyenne reçue de SINR ainsi que au trafic généré au sein de la zone de service. Des stratégies de sélection assurant des hauts niveaux de qualité de connexion sont évidemment souhaitables.

3.5.6 Probabilités de blocage des appels

Le blocage d'un appel est dû au manque des ressources nécessaires pour effectuer un service par le réseau choisi. Lorsqu'un nouvel appel (original) pour un service arrive et le réseau concerné n'a pas de ressources suffisantes pour introduire le service demandé, l'appel sera bloqué. La stratégie de sélection a sans doute une influence principale sur le nombre des appels bloqués au sein du système hétérogène. Selon les métriques de choix considérées, les stratégies de sélection peuvent équilibrer le trafic entre les réseaux disponibles au sein du système ou allouer plus de ressources au trafic situé dans une partie conduisant à la congestion dans les autres parties de la zone de service.

3.5.7 Probabilité de défaillance des appels (dropping)

De même que le blocage de l'appel, la défaillance d'une communication est également due à un manque de ressources. Mais dans ce cas, ces ressources sont impliquées pour assurer la continuité d'une communication qui est déjà mise en service. Donc, la probabilité de défaillance est calculée à partir des appels qui sont déjà servis. Deux types de défaillance peuvent être rencontrés : le premier se produit à cause de la variation de la puissance de signal reçu conduisant à augmenter le nombre des ressources pour assurer les niveaux requis de la qualité de service. Le deuxième se produit à cause du déplacement hors de la couverture du réseau actuel, et le réseau cible ne peut pas le servir. Le deuxième type de défaillance est souvent appelé probabilité de blocage de handover horizontale ou verticale selon le mode des deux réseaux concernés. Il est directement affecté par le type de mobilité des utilisateurs au sein de la zone de service.

3.6 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter les principales approches accompagnées de la sélection d'un réseau ou de la décision de handover dans les réseaux hétérogènes. Nous avons présenté les procédures effectuées afin de transfert d'une communication entre deux réseaux ainsi que les méthodes de contrôle. Nous avons mentionné que la décision de choix doit être contrôlée par le terminal mobile et supportée par les réseaux concernés. Ensuite, nous avons mentionné les principales techniques considérées pour prendre la décision et finalement, une stratégie de sélection basée sur l'approche de l'utilité a été traitée et analysée. La fonction d'utilité considérée combine plusieurs métriques de choix. Nous avons montré que la variation de la préférence des utilisateurs pour chacun des critères de choix peut affecter les performances de système hétérogène. Alors, la décision de choix suivant un seul facteur donné peut conduire à des performances différentes de celles obtenues suivant un autre. En outre, les différents paramètres mesurés afin d'évaluer les performances d'un système hétérogène ont également été présentés à la fin de ce chapitre.

Chapitre 4

Stratégie de sélection basée sur le SINR et spécifications du système

Dans la prochaine génération de réseaux sans fil et mobiles, les utilisateurs pourront se déplacer entre les réseaux hétérogènes en utilisant des terminaux équipés par interfaces d'accès de plusieurs types. Dans ce contexte, les terminaux mobiles choisissent le réseau désiré en fonction de leur préférence entre plusieurs métriques prédéfinies telles que la disponibilité de bande passante, la consommation d'énergie, la puissance du signal reçu ou le coût. L'interférence représente également un facteur important dans cet environnement puisqu'elle peut affecter les performances du système surtout dans l'environnement multicellulaires. Dans ce chapitre, nous présentons une stratégie de sélection basée sur la valeur estimée du SINR (Signal to Interference-plus-Noise Ratio) dans un système hétérogène sans fil. Les utilisateurs, selon cette stratégie, sélectionnent toujours le réseau présentant une valeur de SINR la plus élevée possible pour effectuer leur communication. Ensuite, nous allons présenter les caractéristiques principales du système considéré ainsi qu'une estimation analytique des performances. Deux types de mobilité sont adoptés pour décrire le mouvement des utilisateurs. De même, plusieurs types de services avec différentes exigences et contraintes sont disponibles au sein de la zone de service. Les performances du système seront traitées et analysées en se basant sur la chaîne de Markov.

4.1 Introduction

Aujourd'hui, l'infrastructure des communications tend à converger vers des systèmes hétérogènes où les utilisateurs pourraient se déplacer entre les différents réseaux en cours de leurs communications. Une approche basée sur l'utilisateur (User-Centric), permettant aux utilisateurs de mieux contrôler le comportement de leurs terminaux, avec le terminal intelligent représentent les deux points clés de cet environnement. Le terminal intelligent est toujours occupé à assurer une connexion avec le meilleur réseau. Ce terminal identifie, périodiquement ou lors d'un événement, la qualité du lien radio de tous les réseaux d'accès disponibles qui pourraient être obtenus par les interfaces physiques radio. En se basant sur ces informations et en prenant en compte les préférences des utilisateurs, le terminal

mobile se connecte au nouveau réseau. Dans la littérature, plusieurs mécanismes ont été proposés pour décider quel réseau est le mieux adapté à chaque utilisateur et à tout moment. Nous avons présenté dans le chapitre précédent un état de l'art sur les stratégies de sélection les plus utilisées. Nous avons bien montré que la décision suivant chacun des critères de choix peut affecter les performances des systèmes hétérogènes. C'est pourquoi, notre travail sera destiné à étudier les stratégies de sélection basées sur une seule métrique dans le but de simuler et comparer les performances du système pour plusieurs critères de choix. Dans les travaux présentés en [80], les performances du système hétérogène basé sur la puissance de signal reçu (RSNS) ainsi que la bande passante disponible (TBNS) ont été analysées en termes des probabilités de blocage d'appels et des probabilités de résiliation forcée des appels. De plus, les auteurs ont proposé une stratégie basée sur la combinaison entre ces deux stratégies de sélection. Toutefois, le problème principal dans [80] est que l'interférence venant d'autres réseaux n'était pas prise en compte. Cette interférence pourrait affecter la puissance du signal reçu et changer la décision de choix du réseau cible. En conséquence, les performances du système mesurée en termes de probabilités de blocage et de résiliation des appels seront directement influencées. Dans les travaux présentés en [74][75][76][87], la valeur de SINR a été introduite comme critère de décision de handoff vertical. Les auteurs de ces documents ont confirmé que l'algorithme basé sur le SINR a un débit plus élevé et moins de probabilités de déconnexion d'appel pendant une opération de handoff vertical en comparaison avec ceux des autres algorithmes VHO (Vertical HandOver). En outre, les auteurs de [40] ont proposé la stratégie terminal-controlled mobility management basée sur la valeur reçue de SINR et aussi sur d'autres critères tels que le coût, la durée de vie de la batterie et la fréquence de Handover. Cependant, aucun de ces documents n'a examiné les performances du système en termes des probabilités de blocage ou la qualité de connexion des appels. En outre, la mobilité des utilisateurs ainsi que le taux de changement inter cellules n'ont pas été pris en compte. Dans ce chapitre, nous proposons de se baser sur le SINR pour définir une stratégie de sélection dans un système hétérogène. Contrairement aux travaux antérieurs basés sur le SINR, nous considérons plusieurs modèles de mobilité pour décrire les mouvements des utilisateurs dans la zone de service. Plusieurs types de services avec différentes exigences et contraintes sont également supposées disponibles. Ensuite, et en se basant sur la chaîne de Markov, nous présentons une évaluation analytique des performances du système en termes de probabilité de blocage des demandes d'accès aux services, de probabilité de défaillance de handovers horizontal et vertical ainsi que la qualité de connexion des appels.

4.2 Modèle de système

La figure 4.1 explique la configuration du système hétérogène prise en compte dans notre étude. Nous considérons une zone de service circulaire A de rayon R qui représente un cluster dans un système cellulaire. Les utilisateurs mobiles se déplacent dans la zone de service selon un des modèles de mobilité mentionnés dans le premier chapitre. Cette zone

de service est supposée comprendre de plusieurs cellules homogènes de type A_1 . Chacune de ces cellules est couverte par plusieurs types de réseaux. Afin de simplifier l'analyse, nous nous focalisons sur le traitement d'une seule cellule A_1 couverte par M réseaux hétérogènes N_i ($1 \leq i \leq M$). Chaque réseau N_i ($1 \leq i \leq M$) est supposé avoir une zone de couverture de forme circulaire avec un rayon R_i . De plus, nous supposons que le réseau N_1 couvre totalement la cellule A_1 tandis que les réseaux N_j ($2 \leq j \leq M$) couvrent certaines parties de cette cellule. Pour simplifier l'analyse, nous supposons également que les réseaux N_j ($2 \leq j \leq M$) ne se chevauchent pas les uns avec les autres. Comme illustré sur la figure 4.1, nous utilisons A_j ($2 \leq j \leq M$) pour indiquer la partie de la cellule A_1 qui est couverte par les réseaux N_1 et N_j ($2 \leq j \leq M$) et A_s pour indiquer la partie couverte par le réseau N_1 seulement ($A_s = A_1 - \sum_{j=2}^M A_j$). Dans les zones de chevauchement A_j ($2 \leq j \leq M$), les utilisateurs ont de nombreuses options de connexion. Lorsqu'un nouvel appel arrive dans ces zones, l'utilisateur choisit un réseau parmi tous ceux disponibles. Basé sur une stratégie de sélection, l'utilisateur choisit le meilleur réseau pour effectuer sa connexion.

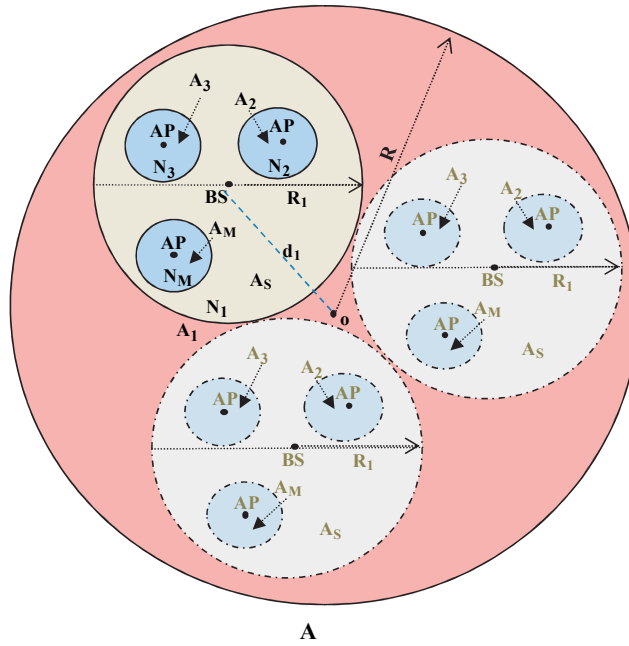


Figure 4.1 - Zone de service couvert par plusieurs types de réseaux.

En outre, nous supposons que le réseau N_1 fournit des services à faible bande passante tandis que les réseaux N_j ($2 \leq j \leq M$) fournissent des services à bande passante plus large. C'est le cas par exemple avec une cellule couverte par un réseau cellulaire et plusieurs réseaux sans fil. Dans notre travail, nous supposons que chaque réseau N_i ($1 \leq i \leq M$) dispose B_i unités de bande passante. Ces unités peuvent être allouées aux utilisateurs pour offrir des services Unicast ou Multicast. Nous dénotons B_i^{MC} le nombre des unités du réseau N_i ($1 \leq i \leq M$) qui sont réservées aux services Multicast et B_i^{UC} le

nombre des unités qui sont disponibles pour des services Unicast. Nous considérons également K sources d'interférence $\{I(k); k = 1, \dots, K\}$ aléatoirement distribuées dans la cellule A_1 . Elles joueront un rôle central dans l'algorithme de sélection puisqu'elles affectent les signaux qui fonctionnent à la même fréquence. Le tableau 4.1 résume les principaux paramètres du système hétérogène considéré.

Tableau 4.1 - Paramètres du système hétérogène.

	Cellule A_1	
Interférence	K sources d'interférence aléatoirement distribuées	
Réseaux	N_I	$N_j : N_2, N_3, \dots, N_M$
Type	cellulaire	sans fil
Couverture	toute la cellule A_1	certaines parties de la cellule A_1
Services	à faible bande passante	à large bande passante
Zone A_s	couverte par N_I	n'est pas couverte par N_j
Zone A_j	couverte par N_I	couverte par N_j
	Deux types de services	
	Multicast	Unicast
Unités de bande passante	B_i^{MC}	B_i^{UC}

4.3 Stratégie de sélection basée sur le SINR

La figure 4.2 montre les principales étapes effectuées pour sélectionner le réseau cible dans un environnement hétérogène. Dans les zones de chevauchement A_j ($2 \leq j \leq M$) où plusieurs réseaux sont disponibles, chaque utilisateur choisit le réseau préféré suivant la stratégie de sélection considérée. Avec la stratégie basée sur la valeur estimée de SINR, le terminal mobile identifie les stations de base et les points d'accès dans son entourage, estime les canaux et la puissance reçue des différentes stations de base (ou des points d'accès) et la variance de bruit thermique. Ensuite, il sélectionne le réseau qui présente la plus grande valeur de SINR.

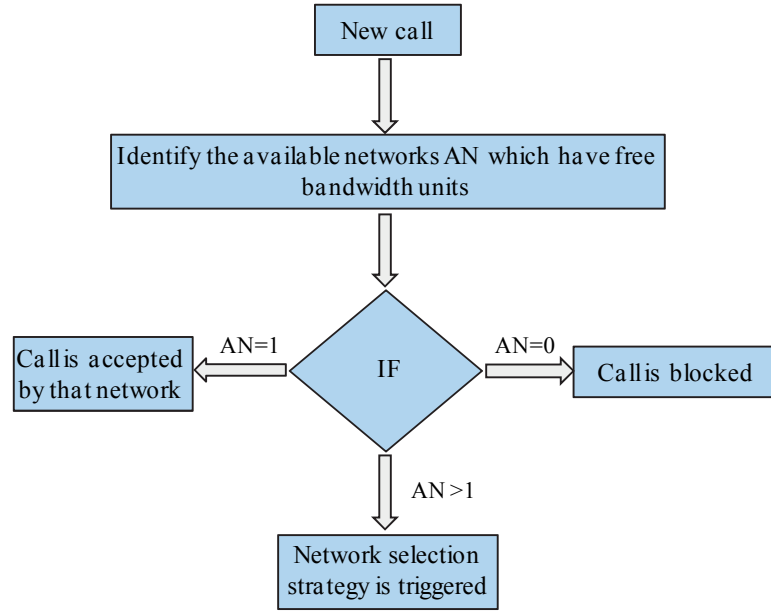


Figure 4.2 - Schéma représentant la stratégie de sélection.

La valeur de SINR est une quantité qui décrit la qualité du signal utile par rapport à l'interférence en provenance des stations voisines et du bruit thermique. La valeur reçue de SINR par un utilisateur n dans la voie descendante peut être modélisée par :

$$SINR_i^n = \frac{P_{received,i}^n}{\sigma^2 + P_I^n}, \text{ pour } i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

où $P_{received,i}^n$ est la puissance reçue par le terminal de l'utilisateur n du réseau N_i , σ^2 est la puissance de bruit thermique et P_I^n est l'interférence reçue à partir des différentes sources d'interférence (principalement l'interférence inter-cellulaire) par l'utilisateur n .

La puissance reçue par le MT (Mobile Terminal) de l'utilisateur n du réseau N_i peut être donnée par :

$$P_{received,i}^n = P_i^{max} - P_l(dB) \quad (2)$$

où P_i^{max} est la puissance maximale transmise de la station de base (BS) ou le point d'accès (AP) du réseau N_i ($1 \leq i \leq M$) et P_l est l'atténuation du canal en raison de l'affaiblissement sur le trajet entre l'utilisateur n et le BS (ou AP) du réseau N_i ($1 \leq i \leq M$).

Dans notre travail, on suppose que le réseau cellulaire N_1 est de type LTE (Long Term Evolution). Dans ce cas, la puissance de la station de base est divisée entre les sous-porteuses de la technologie OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). En supposant que la puissance de station de base est également répartie entre les sous-porteuses, la puissance maximale transmise peut être calculée en divisant la puissance émise par la station de base par le nombre total de sous-porteuses modulées comme suit :

$$P_i^{max} = \frac{P_{BS}}{N_{sub}}. \quad (3)$$

Dans notre étude, un modèle de propagation macro-cellulaire pour les zones urbaines et suburbaines [88] est utilisé, et pour une hauteur d'antenne de 15 mètres, on peut calculer la perte de trajet par :

$$P_l(dB) = 58.8 + 21\log_{10}(f) + 37.6\log_{10}(r_i^n) + S \quad (4)$$

où f est la fréquence porteuse en MHz, r_i^n est la distance entre l'utilisateur n et la station de base (ou AP) de réseau N_i , S est l'écart-type du « shadowing » qui est supposé égal à 10 dB [75].

De la même manière, nous pouvons déterminer la puissance d'interférence reçue par un utilisateur n pour chaque source d'interférence $I(k)$ ($1 \leq k \leq K$). Dans notre travail, nous considérons K sources d'interférences qui sont aléatoirement distribuées dans la cellule A_1 . En outre, nous supposons que les signaux sont orthogonaux par cellule alors que l'interférence peut provenir des cellules voisines seulement. Par conséquent, la puissance totale reçue d'interférence, P_I^n , peut être modélisée comme suit :

$$P_I^n = \sum_{k=1}^K (P_{I(k)}^{max} - P_{k,l}^n(dB)) \quad (5)$$

où $P_{I(k)}^{max}$ est la puissance maximale d'interférence transmise respectivement par $I(k)$, et $P_{k,l}^n(dB)$ est la perte d'atténuation du canal entre la source d'interférence $I(k)$ ($1 \leq k \leq K$) et l'utilisateur n .

4.4 Modèles de mobilité

Les modèles de mobilité sont des éléments importants en matière de simulation basés sur des études de réseaux sans fil. Les chercheurs dans ce domaine font des choix divers de modèles qui ont été développés pour les communications sans fil et mobiles. Nous présentons dans la suite les propriétés principales des deux modèles de mobilité largement utilisés dans l'analyse des performances des réseaux sans fil et mobiles. Ces deux modèles sont adoptés pour simuler le comportement des utilisateurs dans le cluster.

4.4.1 Modèle de mobilité 2D Fluid Flow

Dans ce modèle de mobilité, les utilisateurs se déplacent dans toutes les directions dans la zone de service avec les mêmes probabilités. Il est souvent utilisé pour représenter les caractéristiques de la circulation sur l'autoroute et d'autres situations similaires avec un flux constant de terminaux mobiles.

4.4.1.1 Distribution des utilisateurs dans la zone de service

Le modèle d'écoulement de fluide suppose que les utilisateurs mobiles sont uniformément répartis dans la zone de service. La vitesse de déplacement de chaque utilisateur mobile est choisie selon une distribution aléatoire. Le comportement du trafic généré selon ce modèle de mobilité est semblable à un fluide circulant dans un tuyau.

4.4.1.2 Taux de changement de cellules

Selon le modèle d'écoulement de fluide, le taux moyen de sortie d'une cellule A_i ($1 \leq i \leq M$) peut être calculé par [89] :

$$\eta_{A_i} = \frac{E[V] * L_{A_i}}{\pi * A_{A_i}} \quad (6)$$

où $E[V]$ est la vitesse moyenne des utilisateurs mobiles dans la zone de service, L_{A_i} est la longueur du périmètre de la cellule A_i et A_{A_i} est la surface de la cellule A_i . A partir de cette équation, on peut trouver le taux moyen de sortie de la zone A_s vers la cellule A_j ($2 \leq j \leq M$) par :

$$\eta_{A_s}^{A_j} = \frac{E[V] * L_{A_s}^{A_j}}{\pi * A_{A_s}} \quad (7)$$

où $L_{A_s}^{A_j}$ est la longueur du périmètre de frontière entre la zone A_s et la cellule A_j ($2 \leq j \leq M$) qui est donnée par :

$$L_{A_s}^{A_j} = 2 * \pi * R_j \quad (8)$$

et A_{A_s} est la surface de la zone A_s qui peut être calculée par :

$$A_{A_s} = A_{A_1} - \sum_{j=2}^M A_{A_j} = \pi * R_1^2 - \sum_{j=2}^M \pi * R_j^2 \quad (9)$$

De la même manière, on peut trouver le taux moyen de sortie de la zone A_s à l'extérieur de la cellule A_1 par l'équation suivante :

$$\eta_{A_s}^{A_o} = \frac{E[V] * L_{A_s}^{A_o}}{\pi * A_{A_s}} \quad (10)$$

où $L_{A_s}^{A_o}$ est la longueur du périmètre de frontière entre la zone A_s et le cluster qui est donnée par :

$$L_{A_s}^{A_o} = 2 * \pi * R_1. \quad (11)$$

4.4.1.3 Probabilité de trouver des utilisateurs dans une cellule A_i

Comme les utilisateurs mobiles sont répartis uniformément dans la zone de service, le pourcentage des utilisateurs qui peuvent être situés dans une cellule A_i ($1 \leq i \leq M$) peut être calculé par la division de la surface de la cellule considéré A_i sur la surface de la zone totale de service A :

$$P_{A_i} = \frac{A_{A_i}}{A_A}. \quad (12)$$

4.4.2 Modèle de mobilité (Random WayPoint)

Contrairement au modèle 2-D fluid flow, le modèle RWP représente mieux les mouvements individuels des utilisateurs avec des arrêts, des départs et d'autres actions liées à une itinérance individuelle dans la ville.

4.4.2.1 Distribution des utilisateurs dans la zone de service

Comme les utilisateurs se déplacent dans les différentes directions de la zone de service avec des probabilités différentes, la distribution des utilisateurs selon le modèle de mobilité RWP n'est pas uniforme dans la zone de service. En général, la distribution stationnaire des utilisateurs qui se déplacent dans une zone convexe A suivant le modèle RWP est donnée par [90] :

$$f(r) = \frac{1}{2 \cdot \bar{l} \cdot A_A^2} \int_0^{2\pi} \alpha_1 \alpha_2 (\alpha_1 + \alpha_2) d\emptyset \quad (13)$$

où \emptyset est l'angle de l'utilisateur mobile par rapport à l'axe des abscisses ox , $\alpha_1 = \alpha_1(r, \emptyset)$ est la distance du point $r \in A$ à la frontière de A en direction de \emptyset et $\alpha_2 = \alpha_1(r, \emptyset + \pi)$ est la distance à la frontière en sens inverse. \bar{l} représente la longueur moyenne de « one movement epoch » qui peut être calculée par :

$$\bar{l} = \frac{1}{2 \cdot A_A^2} \int_0^A \int_0^{2\pi} \alpha_1 \alpha_2 (\alpha_1 + \alpha_2) d\emptyset dA. \quad (14)$$

Puisque nous analysons un cluster A dans un système cellulaire et les zones de service sont des cellules circulaires, la longueur moyenne de « one movement epoch » peut être donnée par :

$$\bar{l} = \frac{128}{45\pi} R \quad (15)$$

et la densité de probabilité $f(r)$ de trouver un utilisateur à un rayon r (à partir du centre du cluster) est donnée par la formule [90] :

$$f(r) = \frac{45(R^2 - r^2)}{64\pi \cdot R^5} \int_0^\pi \sqrt{R^2 - r^2 \cos^2 \varnothing} d\varnothing \quad (16)$$

4.4.2.2 Taux de changement de cellules

Selon le modèle RWP, et sur la base des résultats rapportés par [91], nous pouvons montrer que le taux moyen de sortie d'une cellule, de rayon R_i ($1 \leq i \leq M$) et située à une distance d_i de l'origine, peut être calculé par l'équation suivante :

$$\eta_{(R_i, d_i)} = \frac{2}{\bar{l} \cdot A^2 \cdot R \cdot E\left[\frac{1}{v}\right]} \int_0^\pi \int_0^\pi R_i (1 - q^2) \cdot \sin \varnothing \sqrt{1 - q^2 \cos^2 (\varnothing + \alpha - \beta)} d\alpha d\varnothing \quad (17)$$

où

$$q^2 = d_i^2 + 2d_i R_i \cos \alpha + R_i^2$$

$$\beta = \arctan(d_i + R_i \cos \alpha, R_i \sin \alpha).$$

4.4.2.3 Probabilité de trouver des utilisateurs dans une cellule A_i

La probabilité de trouver un utilisateur mobile donné dans une cellule est reliée avec la distribution des utilisateurs dans la zone de service et en conséquence avec le modèle de mobilité considéré. Selon le modèle RWP, les auteurs de [92] ont présenté une formule spécifique pour calculer cette probabilité pour des cellules situées dans le centre de la zone de service (le cluster dans notre étude). Dans ce travail, et sur la base de [91][92], nous avons développé (voire l'annexe A) une relation simple et générale qui permet le calcul de cette valeur de probabilité pour une cellule, de rayon R_i située entièrement dans le cluster et décalée d_i de l'origine, comme suit :

$$P_{(R_i, d_i)} = \frac{2}{\bar{l} \cdot A^2} \int_0^{R_i} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} R_i (1 - q^2) \cdot \sqrt{1 - q^2 \cos^2 (\varnothing + \alpha - \beta)} d\varnothing d\alpha dr. \quad (18)$$

On doit noter que cette probabilité est reliée avec le temps de séjour dans cette cellule ainsi qu'avec le taux de changement de cellule. Le temps de séjour dans une zone déterminée est une période de temps que l'utilisateur passe dans cet endroit. Le temps de séjour moyen dans une cellule A_i peut être calculé par :

$$T_{(R_i, d_i)} = P_{(R_i, d_i)} / \eta_{(R_i, d_i)} \quad (19)$$

Ainsi, en utilisant les équations (17 - 19), et après quelques développements, nous pouvons calculer les taux moyens de sortie : de la cellule A_i ($1 \leq i \leq M$), de la zone A_s à la cellule A_j ($2 \leq j \leq M$) et de la zone A_s à l'extérieur de la cellule A_1 . Le calcul de ces valeurs dans le contexte hétérogène est donné dans l'annexe B.

4.5 Taux moyen de demandes d'accès aux services

Nous supposons dans notre travail que plusieurs types de services sont disponibles dans la zone de service considérée (le cluster). Les services disponibles pourraient être proposés par les réseaux comme services Multicast ou Unicast. Dans cette étude, nous supposons qu'on a H services de types Unicast et Q services de types Multicast qui sont disponibles dans la zone de service A . En général, nous utilisons $\lambda_A^{CS_o}$ pour indiquer le taux moyen de demandes d'accès à un service S_o ($1 \leq o \leq O$) dans la zone A . En conséquence, nous pouvons calculer le taux moyen de demandes d'accès à un service S_o ($1 \leq o \leq O$) dans une cellule A_i ($1 \leq i \leq M$) par :

$$\lambda_{A_i}^{CS_o} = P_{A_i} \cdot \lambda_A^{CS_o} = P_{(R_i, d_i)} \cdot \lambda_A^{CS_o}. \quad (20)$$

où $P_{(R_i, d_i)}$ est la probabilité de trouver un terminal mobile donné dans une cellule de rayon R_i et située à distance d_i de l'origine.

De la même manière, nous pouvons calculer le taux moyen de demandes d'accès à un service S_o dans la zone A_s par :

$$\lambda_{A_s}^{CS_o} = P_{A_s} \cdot \lambda_A^{CS_o} = \left(1 - \sum_{j=2}^M P_{(R_j, d_j)} \right) \cdot \lambda_{A_1}^{CS_o}. \quad (21)$$

4.6 Taux moyen de demandes de handovers horizontal et vertical

Le taux de demandes de handover peut être défini comme le taux moyen des utilisateurs qui quittent une cellule avant la fin de leurs communications. Les deux types de handover qui peuvent être rencontrés dans la zone de service sont illustrés par la figure 4.3.



Figure 4.3 - Types de handover dans le cluster.

Le **handover horizontal** est le processus de transfert d'un appel entre des cellules différentes d'un même réseau. Comme le cluster est couvert par plusieurs cellules homogènes de type A_1 , nous supposons que l'utilisateur qui se déplace de la zone A_s à l'extérieur de la cellule A_1 , accède directement à un autre réseau similaire. Par conséquent, une demande de handover horizontal vers la nouvelle BS du réseau du même type est générée. En supposant que $U_{A_s}^{S_o}$ est le nombre moyen des utilisateurs mobiles qui utilisent un service S_o dans la zone A_s , le taux moyen de demandes de handover horizontal au réseau N_1 pour un service S_o , $\lambda_{N_1}^{HS_o}$, est égal au taux moyen de ces utilisateurs qui se déplacent de la zone A_s à l'extérieur de la cellule A_1 avant la fin de leurs communications. Il est donné par :

$$\lambda_{N_1}^{HS_o} = U_{A_s}^{S_o} \cdot \eta_{A_s}^{A_o}, \text{ pour } (1 \leq o \leq O) \quad (22)$$

où $\eta_{A_s}^{A_o}$ est le taux moyen de sortie de la zone A_s à l'extérieur de la cellule A_1 .

En revanche, le **handover vertical** est le processus de transfert d'un appel entre deux différentes technologies d'accès. Donc, le taux moyen de demandes de handover vertical au réseau N_j ($2 \leq j \leq M$) pour un service S_o , $\lambda_{N_j}^{VS_o}$, est égal au taux moyen des utilisateurs qui utilisent ce service dans la zone A_s et qui se déplacent de la zone A_s vers la cellule A_j sans avoir terminé leurs communications. Il est donné par :

$$\lambda_{N_j}^{VS_o} = U_{A_s}^{S_o} \cdot \eta_{A_s}^{A_j}, \text{ pour } (1 \leq o \leq O) \quad (23)$$

où $\eta_{A_s}^{A_j}$ est le taux moyen de sortie de la zone A_s vers la cellule A_j .

De la même façon, nous considérons $U_{N_j}^{S_o}$ comme le nombre moyen des utilisateurs mobiles qui utilisent le service S_o dans le réseau N_j . Le taux moyen de demandes de handover vertical à partir du réseau N_j au réseau N_1 , $\lambda_{N_1}^{VS_o}$, est égal au taux moyen des utilisateurs qui utilisent le service S_o dans la cellule A_j et qui la quittent sans avoir terminé leurs communications. Par conséquent, le taux moyen de demande de handover vertical vers le réseau N_1 , est donné par :

$$\lambda_{N_1}^{VS_o} = \sum_{j=2}^M U_{N_j}^{S_o} \cdot \eta_{A_j}^{A_1}, \text{ pour } (1 \leq o \leq O). \quad (24)$$

où $\eta_{A_j}^{A_1}$ est le taux moyen de sortie de la cellule A_j .

4.7 Technologies d'accès disponibles

L'augmentation de l'utilisation de Smartphones ainsi que la demande croissante des services Internet via les appareils mobiles amènent les opérateurs à chercher de solutions pour satisfaire les besoins des abonnés. Informa Telecoms et Media Data indiquent que le nombre de Smartphone en cours d'utilisation a augmenté de 32 pour cent pendant l'année 2010, alors que l'on prévoyait une augmentation de 22 pour cent seulement [93]. De plus, selon Juniper Research, le volume de données générées par les téléphones intelligents et les tablettes dépasseront 14.000 pétaoctets d'ici 2015, soit l'équivalent de près de 18 milliards de téléchargements de films ou de 3 trillions de morceaux de musique [94]. En outre, selon Cisco Systems, le trafic de données mobiles sera en 2015, 26 fois plus élevé par rapport à 2010 [95]. Une des solutions proposées est l'utilisation de la norme LTE. L'objectif de la norme LTE est de proposer des débits répondants aux besoins croissant des utilisateurs et d'augmenter la capacité maximale du système. D'autres solutions reviennent à l'utilisation des petites cellules de types femtocell ou wifi permettant de réduire de la congestion au sein de la zone de service. selon Juniper Research, 60 pour cent du trafic par les mobiles sera géré par ces deux types de réseaux en 2016 [96]. Le réseau femtocell est une petite station de base cellulaire qui est généralement conçue pour une utilisation dans une petite entreprise ou à domicile. Il s'appuie sur le spectre sous licence offrant une meilleure couverture intérieure. Les femtocells utilisent les technologies cellulaires, et donc n'importe quel appareil mobile est capable de fonctionner avec la nouvelle station de base sans avoir besoin d'intégrer de nouvelles interfaces. Au contraire, le défi principal pour les cellules femtocell, c'est qu'ils n'ont pas encore atteint la large disponibilité. Ils ont besoin de dispositifs coûteux en raison des problèmes de l'utilisation des fréquences autorisées,

des règles FCC, et son déploiement est plus compliqué. De plus, Il peut y avoir des conflits de fréquences entre le réseau macro et femtocell et entre les femtocells voisins [97]. De l'autre côté, basé sur la norme IEEE 802.11, le WiFi est le nom d'une technologie de réseau sans fil populaire. Le Wifi est une technologie radio différente de la technologie cellulaire, mais la plupart des appareils mobiles sont équipés d'une interface Wi-Fi intégrée. De plus, il y a de millions de réseaux qui sont déjà installées principalement dans les zones encombrées, comme les aéroports, les hôtels et les centres urbains. Dans notre travail, nous avons considéré à la fois le réseau cellulaire LTE et les réseaux sans fil Wifi comme les deux technologies d'accès utilisées pour servir les utilisateurs dans la zone de service. En effet, une des caractéristiques du système LTE adopté est l'allocation de ressources aux utilisateurs selon le type de service demandé. Nous allons présenter dans la suite les caractéristiques principales de l'allocation de ressources du système LTE aux différentes types de services.

4.7.1 Allocation de ressources en LTE

La même structure de base de la trame est utilisée pour la liaison montante comme pour la liaison descendante. La trame LTE est de longueur 10 ms et divisée en 10 sous-trames chacune de longueur 1 ms. Chaque sous-trame est divisée en deux slots, chacun de 0,5 ms. Un slot est composé de 6 ou 7 symboles OFDM, selon que le préfixe cyclique normal ou étendu est employé [98]. Sur l'axe fréquentiel, le spectre est également divisé en sous porteuses et le nombre total de sous-porteuses disponibles dépend de la largeur de bande de transmission globale du système. Le groupe de ressources composé de 12 sous-porteuses consécutives pendant un slot (0.5 ms) est désigné par un PRB (Physical Resource Block). Les spécifications LTE définissent les nombres de ressources de bande passante du système à partir de 1,4 MHz jusqu'à 20 MHz comme le montre le tableau 4.2 [32] :

Tableau 4.2 - Paramètres choisis pour chaque bande passante dans la norme LTE.

Bande passante (MHz)	1,4	3	5	10	15	20
FFT size	128	256	512	1024	1536	2048
Nombre de sous porteuses	72	180	300	600	900	1200
Nombre de RBs	6	15	25	50	75	100

Le bloc de ressources physique constitué d'un slot dans le domaine temporel et une bande passante d'un sous-canal dans le domaine fréquentiel représente l'unité de base de ressource dans le système LTE [99]. Ces PRB sont les plus petits éléments utilisés comme référence pour l'allocation des ressources. Elles sont attribuées aux utilisateurs en fonction de taux minimum de données du service demandé et le niveau de modulation et de codage

attribué MCS (Modulation and Coding Scheme) [100]. Le calcul du nombre requis de PRB peut être donné par l'équation suivante :

$$N_{PRB} = \text{Ceil} \left\{ \frac{R_n * \text{FramDuration}}{\text{SymbperFram} * SE_{MCS_t} * f(BLER_{MCS_t, SINR_i^n})} \right\} \quad (25)$$

où R_n est le débit binaire minimale du service demandé par l'utilisateur n , SE_{MCS_t} est l'efficacité spectrale accordant au niveau MCS [100][101], $f(BLER_{MCS_t, SINR_i^n})$ est la fonction de blocks erronés [102][103].

Le tableau 4.3 montre le type de modulation ainsi que l'efficacité spectrale pour chaque MCS en LTE.

Tableau 4.3 - Niveaux de MCS en LTE dans la voie descendante [101].

Niveau MCS	Modulation	Efficacité [bits / symbole]
1	QPSK	0.1523
2	QPSK	0.2344
3	QPSK	0.3770
4	QPSK	0.6010
5	QPSK	0.8770
6	QPSK	1.1758
7	16QAM	1.4766
8	16QAM	1.9141
9	16QAM	2.4063
10	64QAM	2.7305
11	64QAM	3.3223
12	64QAM	3.9023
13	64QAM	4.5234
14	64QAM	5.1152
15	64QAM	5.5547

4.7.2 Multicast et Broadcast sur LTE

Les termes Broadcast et Multicast sont utilisés pour indiquer la transmission simultanément des données à partir d'un émetteur vers tous les utilisateurs ou vers un groupe spécifique de récepteurs (abonnés). L'objectif principal de ce type de transmission est d'éviter la répétition d'envoi des mêmes informations à chacun des abonnés. Contrairement à la transmission Unicast, le flux des données n'est émis qu'une seule fois, et il sera destiné à tous les utilisateurs concernés. En général, les vidéos sont des

applications consommatrices en termes de la bande passante. L'utilisation de la transmission unicast pour la vidéo nécessite que les flux de données seraient envoyés à chacun des utilisateurs même s'ils reçoivent les mêmes informations, ce qui conduit à une perte de temps ainsi que de ressources de bande passante. Basé sur l'étude présentée par Ericsson ConsumerLab [104], le rapport le plus récent de Ericsson Mobility [105], affirme que la vidéo est la plus grosse contribution aux volumes du trafic mobile et représente plus de 50 pour cent du volume total. Selon une autre étude, réalisée par Mobile Content Venture [106], plus de la moitié des consommateurs américains souhaitaient regarder des émissions sur leurs smartphones et tablettes : 68 pour cent des répondants ont affirmé qu'ils vont regarder plus la télévision sur leur appareil mobile; et 61 pour cent ont dit qu'ils vont changer d'opérateur pour parvenir accéder aux services TV-mobiles. Pour répondre à ces demandes croissantes pour la télévision mobile et dans le but d'optimiser la consommation de ressources pour plusieurs types d'applications, 3GPP a défini les services Multicast et Broadcast des multimédias. Ce service permet de diffuser les données une seule fois pour plusieurs utilisateurs situés dans la zone de service, ce qu'on appelle une transmission point à multi point. Sur la couche physique du LTE, il n'y a pas de différence entre les transmissions Broadcast et Multicast de données en liaison descendante. La différence entre les deux modes réside dans le type d'abonnés : les services Broadcast sont disponibles pour tous les utilisateurs sans la nécessité d'une inscription particulière à ces services. En revanche, la disponibilité des services Multicast est limitée de sorte que les utilisateurs individuels doivent s'inscrire afin de recevoir les services sélectionnés. Deux types de transmission de données MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service) peuvent être possibles en LTE : la transmission par une cellule unique et la transmission par multi cellules. Dans le premier cas, les données MBMS sont fournis uniquement par une seule station de base et disponibles dans la couverture d'une seule cellule. Dans le deuxième cas, les données de MBMS sont envoyées par plusieurs stations de base (eNode) avec une forte synchronisation entre les différentes cellules. Ce type de transmission permet d'exploiter l'interface radio OFDM pour transmettre des données Multicast ou Broadcast en mode de transmission multicellulaire sur un réseau à fréquence unique synchronisée, c'est ce qu'on appelle Multimedia Broadcast Single Frequency Network (MBSFN). En conséquence, le terminal de récepteur peut recombinaison les signaux reçus à partir de plusieurs stations de base voisines, ce qui conduit à améliorer le rapport signal-sur-bruit [107]. De plus et du point de vue de l'attribution des fréquences porteuses, LTE est conçu pour supporter entre autre la transmission de données MBMS sur une porteuse dédiée ou la transmission sur une porteuse mixte MBMS/ Unicast. Dans le premier type, toutes les sous-trames sont utilisées pour la transmission des services MBMS alors que dans le deuxième les sous trames sont partagées entre les services MBMS et les services Unicast. Dans ce dernier cas, les services MBMS et Unicast sont multiplexées dans le temps en utilisant des différentes sous-trames. De plus, certaines sous trames ne sont pas autorisées à être utilisés pour la transmission MBSFN : les sous-trames 0, 4 et 5 dans chaque trame 10 ms sont réservés pour la transmission Unicast pour éviter de perturber les signaux de synchronisation [32].

4.8 Modèle de Markov

Nous utilisons dans cette étude la méthode de Markov pour la modélisation du système hétérogène et l'évaluation des performances suivant la stratégie de sélection basée sur la valeur estimée de SINR. Nous nous concentrons dans notre étude sur une seule cellule A_1 situé entièrement dans la zone de service A . Cette cellule est couverte par M réseaux hétérogènes N_i ($1 \leq i \leq M$) comme celle qui est illustrée par la figure 4.4. Nous décrivons l'ensemble des états possibles de système et des transitions entre eux en fonction des unités de la bande passante dans chacun des réseaux disponibles.

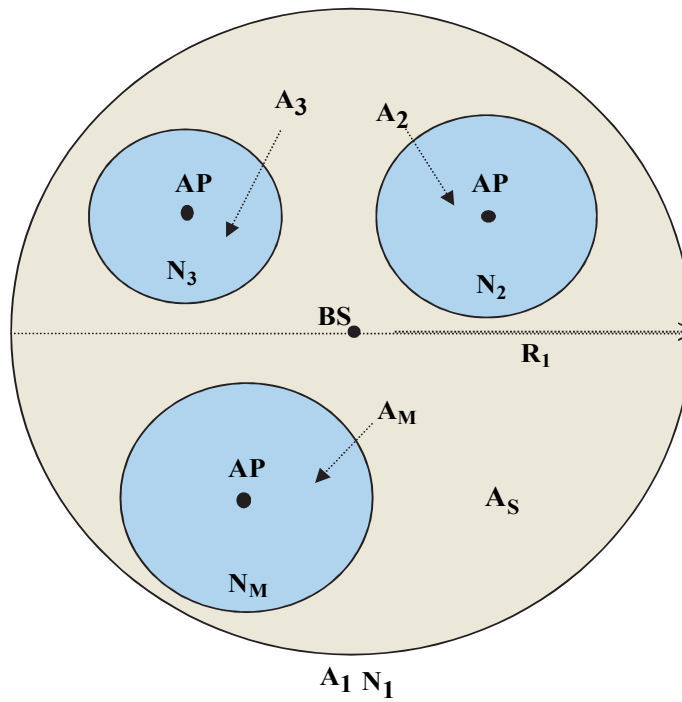


Figure 4.4 - Cellule A_1 couverte par plusieurs réseaux hétérogènes.

4.8.1 États et évènements du système

Dans notre travail, nous considérons une chaîne de Markov de dimension $H*(2M-1)$ afin de modéliser et décrire tous les états possibles du système hétérogène illustré par la figure 4.4. Cela pourrait être modélisé comme un ensemble des valeurs données par : $(b_{11}^{S_1}, \dots, b_{11}^{S_H}, b_{12}^{S_1}, \dots, b_{12}^{S_H}, b_2^{S_1}, \dots, b_2^{S_H}, \dots, b_{1M}^{S_1}, \dots, b_{1M}^{S_H}, b_M^{S_1}, \dots, b_M^{S_H})$, où $b_{11}^{S_o}$ ($1 \leq o \leq H$) est le nombre des unités de bande passante occupées du réseau N_1 dans la zone A_s pour offrir le service Unicast S_o ($1 \leq o \leq H$), $b_{1j}^{S_o}$ correspond au nombre des unités de bande passante occupées du réseau N_1 dans la zone A_j pour offrir le service Unicast S_o , et $b_j^{S_o}$ correspond au nombre des unités de bande passante occupées du réseau N_j ($2 \leq j \leq M$) pour offrir le service Unicast S_o .

Dans cette étude, nous supposons que les réseaux N_j ($2 \leq j \leq M$) sont des réseaux WLAN et couvrent certaines parties de la zone de service A_1 . Chaque réseau N_j ($2 \leq j \leq M$) comporte B_j unités de bande passante et chaque unité représente un canal logique. Toutes les unités de bande passante B_j des réseaux WLAN sont supposées être allouées aux services Unicast seulement. D'autre part, nous supposons que le réseau cellulaire LTE couvre toute la cellule A_1 . Nous avons montré que l'unité de base de ressource dans le système LTE est le bloc physique de ressource (PRB). Nous supposons également que chaque PRB représente une unité de bande passante et sera utilisé comme référence pour l'allocation des ressources. Nous supposons que le réseau N_1 (LTE) fournit deux types de services, Multicast et Unicast. Nous utilisons S_o ($1 \leq o \leq H$) pour indiquer les services Unicast et S_o ($H \leq o \leq O$) pour désigner les services Multicast. Une partie de blocs de ressources (B_1^{MC}) du réseau N_1 est toujours réservée aux services Multicast et elle ne peut pas être utilisée pour offrir des services Unicast alors que le reste de blocs de ressources (B_1^{UC}) sont affectés aux services Unicast. Pour ces derniers, les PRBs sont attribués aux utilisateurs en fonction de taux minimum de données du service demandé et le niveau de modulation et de codage attribué. Nous utilisons $N_{PRB}^{S_o}$ pour indiquer le nombre de blocks de ressources qui est demandé pour fournir un service Unicast S_o ($1 \leq o \leq H$) par le réseau LTE (N_1).

En outre, nous définissons un espace d'état χ qui contient tous les états possibles du système, $x = (b_{11}^{S_o}, b_{12}^{S_o}, b_2^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$, comme suit :

$$\chi = \{x | \sum_{o=1}^H \sum_{i=1}^M b_{1i}^{S_o} \leq B_1^{UC} \cap \sum_{o=1}^H b_j^{S_o} \leq B_j\}. \quad (26)$$

Nous supposons que x , b_{11} , b_{1j} , b_j sont respectivement l'état actuel du système, le nombre total des unités de bande passante occupées du réseau N_1 dans la zone A_s ($b_{11} = \sum_{o=1}^H b_{11}^{S_o}$), le nombre total des unités de bande passante occupées du réseau N_1 dans la zone A_j ($b_{1j} = \sum_{o=1}^H b_{1j}^{S_o}$) et le nombre total des unités de bande passante occupées du réseau N_j dans la zone A_j ($b_j = \sum_{o=1}^H b_j^{S_o}$) à l'état x . De plus, nous considérons six événements pour décrire les possibles transitions entre les états du système. Ces événements et leurs taux de transitions dans les deux sens (de et vers l'état actuel) sont décrits comme suit :

- **Événement (a) :** arrivée d'une demande d'accès à un service S_o ($1 \leq o \leq O$) dans la zone de service A_s ou d'une demande de handover horizontal pour ce service. Lorsque un événement (a) se produit, deux cas sont attendus : la demande sera soit acceptée soit refusée. Dans le cas de service Multicast, l'état du système ne change pas. Dans le cas d'Unicast, la demande est servie par le réseau N_1 si $(b_{11} + b_{12} + \dots + b_{1M} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC})$. Dans ce cas, le système transite de l'état actuel vers l'état $(b_{11}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_{12}^{S_o}, b_2^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$. La demande est refusée ou terminée forcément s'il n'y a pas d'unités de bande passante suffisantes dans le réseau N_1 . Le taux de transition de l'état

actuel du système à l'état $(b_{11}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_{12}^{S_o}, b_2^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ en raison de l'événement (a) est donné par :

$$\Gamma_a = \lambda_{A_s}^{CS_o} + \lambda_{N_1}^{HS_o}, \quad si \quad \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC}. \quad (27)$$

Il y a aussi une transition de l'état $(b_{11}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_{12}^{S_o}, b_2^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel x en raison de l'événement (a) et son taux de transition est donné par :

$$\Gamma_a = \lambda_{A_s}^{CS_o} + \lambda_{N_1}^{HS_o}, \quad si \quad b_{11}^{S_o} \geq N_{PRB}^{S_o}. \quad (28)$$

- **Evénement (b) :** fin d'une communication qui utilise un service S_o ($1 \leq o \leq O$) dans la zone A_s ou déplacement hors de la cellule A_1 avant la fin de la communication. Lorsqu'un utilisateur termine sa communication ou sort de la cellule, plusieurs unités de bande passante peuvent être libérées du réseau N_1 . Si l'utilisateur était servi par le réseau N_1 avec un service Multicast, aucun changement dans le statut du système ne se produit. Sinon, si l'utilisateur était servi avec un service Unicat S_o ($1 \leq o \leq H$), le système transite de l'état actuel à l'état $(b_{11}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_{12}^{S_o}, b_2^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$. Le taux de transition est donné par :

$$\Gamma_b = \frac{b_{11}^{S_o}}{N_{PRB}^{S_o}} \cdot (\mu_{CS_o} + \eta_{A_s}^{A_o}), \quad si \quad b_{11}^{S_o} \geq N_{PRB}^{S_o} \quad (29)$$

où μ_{CS_o} est l'inverse de la valeur moyenne du temps de traitement (ou la longueur de donnée) du service S_o ($1 \leq o \leq H$).

Il y a aussi une transition de l'état $(b_{11}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_{12}^{S_o}, b_2^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel x en raison de l'événement (b) dont le taux de transition est donné par :

$$\Gamma_b = \left(\frac{b_{11}^{S_o}}{N_{PRB}^{S_o}} + 1 \right) \cdot (\mu_{CS_o} + \eta_{A_s}^{A_o}), \quad si \quad \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC}. \quad (30)$$

- **Evénement (c) :** arrivée d'une demande d'accès à un service S_o ($1 \leq o \leq O$) dans la zone A_j ($2 \leq j \leq M$). Cette demande peut être servie par le réseau N_1 ou par le réseau N_j ($2 \leq j \leq M$). Si la demande consiste à accéder à un service proposé comme Multicast par le réseau LTE (N_1), l'utilisateur choisit le réseau N_1 et l'état de système ne change pas. Si la demande est de type Unicast S_o ($1 \leq o \leq H$), l'utilisateur sélectionne le réseau suivant la stratégie de sélection basée sur la valeur estimée de SINR. Cette demande peut être servie par le réseau N_1 si N_j ($2 \leq j \leq M$) est occupé ou si la valeur de SINR reçu du N_1 est plus grande de celle du réseau N_j ($2 \leq j \leq M$). Dans ce cas, le

système transite de l'état actuel à l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$. Le taux de transition de l'état actuel du système à l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ en raison de l'événement (c) est donné par :

$$\Gamma_c^{j1} = \begin{cases} \lambda_{A_j}^{CS_o}, & \text{si } b_j = B_j \text{ et } \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC} \\ \lambda_{A_j}^{CS_o} P_{(N_1 > N_j)}, & \text{si } b_j < B_j \text{ et } \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC}. \end{cases} \quad (31)$$

Sinon, la demande sera servie par le réseau N_j et le système transite vers l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} + 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$. Le taux de transition dans ce cas est donné par :

$$\Gamma_c^{jj} = \begin{cases} \lambda_{A_j}^{CS_o}, & \text{si } b_j < B_j \text{ et } \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} > B_1^{UC} \\ \lambda_{A_j}^{CS_o} P_{(N_j > N_1)}, & \text{si } b_j < B_j \text{ et } \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC}. \end{cases} \quad (32)$$

Il y a aussi deux autres transitions de l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ ou $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} - 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel en raison de l'événement (c). Le taux de transitions de l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel en raison de l'événement (c) :

$$B_c^{j1} = \begin{cases} \lambda_{A_j}^{CS_o}, & \text{si } b_j = B_j \text{ et } b_{1j}^{S_o} \geq N_{PRB}^{S_o} \\ \lambda_{A_j}^{CS_o} \cdot P_{(N_1 > N_j)}, & \text{si } b_j < B_j \text{ et } b_{1j}^{S_o} \geq N_{PRB}^{S_o} \end{cases} \quad (33)$$

et le taux de transitions de l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} - 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel en raison de l'événement (c) :

$$B_c^{jj} = \begin{cases} \lambda_{A_j}^{CS_o}, & \text{si } b_j^{S_o} > 0 \text{ et } \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} > B_1^{UC} \\ \lambda_{A_j}^{CS_o} \cdot P_{(N_j > N_1)}, & \text{si } b_j^{S_o} > 0 \text{ et } \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC}. \end{cases} \quad (34)$$

- **Événement (d) :** fin d'une communication qui utilise un service S_o ($1 \leq o \leq O$) dans la zone A_j ($2 \leq j \leq M$). Lorsqu'un utilisateur termine sa communication, une ou plusieurs unités de bande passante pourrait être libérées du réseau N_1 ou du réseau N_j . En

conséquence, deux transitions possibles de l'état actuel sont attendues en raison de l'événement (d). Si l'utilisateur était servi par le réseau N_1 avec un service Multicast, l'état du système ne change pas. Si l'utilisateur était servi par le réseau N_1 avec un service Unicast S_o ($1 \leq o \leq H$), le système transite de l'état actuel à l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ et le taux de transition est donné par :

$$\Gamma_d^{j1} = \frac{b_{1j}^{S_o}}{N_{PRB}^{S_o}} \cdot \mu_{cS_o}, \quad \text{si } b_{1j}^{S_o} \geq N_{PRB}^{S_o} \quad (35)$$

En revanche, si l'utilisateur était servi par le réseau N_j , le système transite vers l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} - 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$. Le taux de transition dans ce cas est donné par :

$$\Gamma_d^{jj} = b_j^{S_o} \cdot \mu_{cS_o}, \quad \text{si } b_j^{S_o} > 0. \quad (36)$$

Il y a aussi deux transitions de l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ ou $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} + 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel en raison de l'événement (d). Le taux de transition de l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel en raison de l'événement (d) :

$$\mathcal{E}_d^{j1} = \left(\frac{b_{1j}^{S_o}}{N_{PRB}^{S_o}} + 1 \right) \cdot \mu_{cS_o}, \quad \text{si } \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC} \quad (37)$$

et le taux de transition de l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} + 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel en raison de l'événement (d) :

$$\mathcal{E}_d^{jj} = (b_j^{S_o} + 1) \cdot \mu_{cS_o}, \quad \text{si } b_j < B_j. \quad (38)$$

- **Événement (e) :** un utilisateur mobile qui utilise le service S_o ($1 \leq o \leq O$) se déplace de la zone A_s vers la zone A_j ($2 \leq j \leq M$). Si l'utilisateur était servi par le réseau N_1 avec un service Multicast, la connexion est maintenue et l'état du système ne change pas. Pour les services Unicast S_o ($1 \leq o \leq H$), le MT fait un handover vertical au réseau N_j s'il existe des unités de bande passante libres dans ce réseau et le système transite de l'état actuel à l'état $(b_{11}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} + 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$. Sinon, l'utilisateur maintient sa connexion avec le réseau N_1 et le système transite vers l'état $(b_{11}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$. Le taux de transition de l'état actuel du système à l'état $(b_{11}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ en raison de l'événement (e) est donné par :

$$\Gamma_e^{j1} = \frac{b_{11}^{S_o}}{N_{PRB}^{S_o}} \cdot \eta_{A_s}^{A_j}, \quad \text{si } b_j = B_j \text{ et } b_{11}^{S_o} \geq N_{PRB}^{S_o} \quad (39)$$

et le taux de transition de l'état actuel à l'état $(b_{11}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} + 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ en raison de l'événement (e) est donné par :

$$\Gamma_e^{jj} = \frac{b_{11}^{S_o}}{N_{PRB}^{S_o}} \cdot \eta_{A_s}^{A_j}, \quad \text{si } b_j < B_j \text{ et } b_{11}^{S_o} \geq N_{PRB}^{S_o}. \quad (40)$$

Il y a aussi des transitions de l'état $(b_{11}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ ou $(b_{11}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} - 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel en raison de l'événement (e). Le taux de transition de l'état $(b_{11}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel en raison de l'événement (e) est donné par :

$$\mathbb{B}_e^{j1} = \left(\frac{b_{11}^{S_o}}{N_{PRB}^{S_o}} + 1 \right) \cdot \eta_{A_s}^{A_j}, \quad \text{si } b_j = B_j \text{ et } b_{1j}^{S_o} \geq N_{PRB}^{S_o} \quad (41)$$

et le taux de transition de l'état $(b_{11}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} - 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel en raison de l'événement (e) est donné par :

$$\mathbb{B}_e^{jj} = \left(\frac{b_{11}^{S_o}}{N_{PRB}^{S_o}} + 1 \right) \cdot \eta_{A_s}^{A_j}, \quad \text{si } b_j^{S_o} > 0 \text{ et } \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC}. \quad (42)$$

• **Evénement (f) :** un utilisateur mobile qui utilise un service S_o ($1 \leq o \leq O$) se déplace de la zone A_j ($2 \leq j \leq M$) vers la zone A_s . Un utilisateur dans la zone A_j peut être connecté au réseau N_1 ou au réseau N_j . S'il était servi par N_1 avec un service Multicast, l'utilisateur maintient sa connexion avec le réseau N_1 et l'état de système ne change pas. Sinon, s'il était servi par le réseau N_1 avec un service Unicast S_o ($1 \leq o \leq H$), l'utilisateur maintient sa connexion et le système transite de l'état actuel à l'état $(b_{11}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$. Le taux de transition dans ce cas est donné par :

$$\Gamma_f^{j1} = \frac{b_{1j}^{S_o}}{N_{PRB}^{S_o}} \cdot \eta_{A_j}^{A_s}, \quad \text{si } b_{1j}^{S_o} \geq N_{PRB}^{S_o} \quad (43)$$

En revanche, si l'utilisateur était servi par le réseau N_j ($2 \leq j \leq M$), il y a deux cas possibles :

Cas 1 : l'utilisateur effectue un handover vertical au réseau N_1 s'il existe suffisamment d'unités libres de bande passante dans le réseau N_1 . Dans ce cas, le système transite vers l'état $(b_{11}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} - 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$.

Cas 2 : Si le premier cas, c.à.d. s'il n'y a pas suffisamment d'unités libres de bande passante dans le réseau N_1 , n'est vérifié, l'appel sera terminé. Le système transite de l'état actuel à l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} - 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$.

Par conséquent, il ya deux transitions d'état qui ont le même taux de transition donné par :

$$\Gamma_f^{jj} = b_j^{S_o} \cdot \eta_{A_j}, \quad \text{si } b_j^{S_o} > 0. \quad (44)$$

Il y a trois transitions d'état possibles à l'état actuel en raison de l'événement (f) :

Si l'utilisateur a été connecté au réseau N_1 , le système transite de l'état $(b_{11}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o} + N_{PRB}^{S_o}, b_j^{S_o}, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel avec un taux de transition donné par :

$$B_f^{j1} = \left(\frac{b_{1j}^{S_o}}{N_{PRB}^{S_o}} + 1 \right) \cdot \eta_{A_j}, \quad \text{si } b_{11}^{S_o} \geq N_{PRB}^{S_o} \quad (45)$$

Si l'utilisateur a été connecté au réseau N_j , le système transite de l'état $(b_{11}^{S_o} - N_{PRB}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} + 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ ou de l'état $(b_{11}^{S_o}, b_{1j}^{S_o}, b_j^{S_o} + 1, \dots, b_{1M}^{S_o}, b_M^{S_o})$ à l'état actuel avec un taux de transition donné par :

$$B_f^{jj} = (b_j^{S_o} + 1) \cdot \eta_{A_j}, \quad \text{si } b_j < B_j. \quad (46)$$

La figure 4.5 montre le diagramme de transitions d'état qui illustre tous les états possibles du système ainsi que leurs taux de transitions.

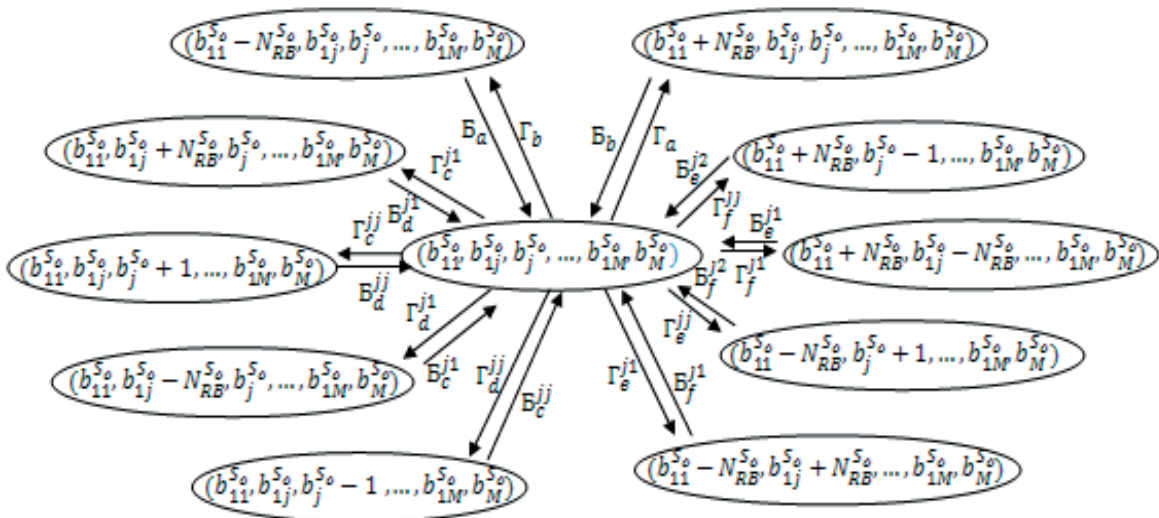


Figure 4.5 - Diagramme de transition d'états.

4.8.2 Analyse des performances du système

Nous pouvons trouver la probabilité de chaque état du système $P(x)$ en résolvant les équations globales équilibrées, prenant en considération que la somme des probabilités de tous les états possibles du système égal à 1. Les équations globales équilibrées sont un ensemble d'équations qui relient les probabilités d'état d'une chaîne de Markov et ses taux de transition. On suppose qu'on a N_P états possibles dans notre espace χ . A partir des équations de la balance globale, on a N_{gbe} équations avec N_P probabilités inconnues données par :

$$\sum_{x_h \in \chi / \{x_l\}} P(x_l) \cdot \tau_{x_l x_h} = \sum_{x_h \in \chi / \{x_l\}} P(x_h) \cdot \tau_{x_h x_l} \quad (47)$$

où $P(x_l)$ est la probabilité que le système est à l'état x_l et $\tau_{x_l x_h}$ est le taux de transition de l'état x_l vers l'état x_h .

En combinant l'effet que la somme des probabilités de tous les états est égal à 1, on aura N_P équations simultanées non linéaires et indépendantes. Nous avons utilisé la méthode de relaxation successive (SOR) pour résoudre ces équations, et déterminer la probabilité de chacun des états possibles du système. La méthode considérée pour résoudre ces équations est donnée dans l'annexe C.

- **Probabilités de blocage et de terminaison des appels :** A partir des probabilités d'état équilibré, nous pouvons trouver la probabilité de blocage de demandes d'accès à un service Unicast S_o ($1 \leq o \leq H$) dans la zone A_s en additionnant les probabilités de tous les états de système où il n'y a pas suffisamment d'unités de bande passante libres dans le réseau N_1 :

$$P_{A_s}^{BS_o} = \sum P(x), \quad si \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} > B_1^{UC}. \quad (48)$$

Ensuite, la probabilité moyenne de blocage de demandes d'accès pour tous les services dans la zone A_s peut être donnée par :

$$P_{A_s}^B = \sum_{o=1}^H \lambda_{A_s}^{CS_o} * P_{A_s}^{BS_o} / \lambda_{A_s}^C. \quad (49)$$

Nous pouvons également trouver la probabilité de blocage de demandes d'accès à un service Unicast S_o ($1 \leq o \leq H$) dans la zone A_j en additionnant les probabilités de tous les états du système où il n'y a pas suffisamment d'unités de bande passante libres dans les deux réseaux N_1 et N_j ($2 \leq j \leq M$). Elle est donnée par :

$$P_{A_j}^{BS_o} = \sum P(x), \quad si \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} > B_1^{UC} \cap b_j = B_j. \quad (50)$$

Ensuite, la probabilité moyenne de blocage de demandes d'accès pour tous les services dans la zone A_j peut être donnée par :

$$P_{A_j}^B = \sum_{o=1}^H \lambda_{A_j}^{CS_o} * P_{A_j}^{BS_o} / \lambda_{A_j}^C. \quad (51)$$

Enfin, nous pouvons calculer la probabilité moyenne de blocage de demandes d'accès à un service Unicast S_o ($1 \leq o \leq H$) dans la cellule totale A_1 par :

$$P_{A_1}^{BS_o} = \frac{\lambda_{A_s}^{CS_o} * P_{A_s}^{BS_o} + \sum_{j=2}^M \lambda_{A_j}^{CS_o} * P_{A_j}^{BS_o}}{\lambda_{A_1}^{CS_o}}. \quad (52)$$

La probabilité moyenne de blocage de demandes d'accès pour tous les services dans la cellule totale A_1 peut être donnée par :

$$P_{A_1}^B = \sum_{o=1}^H \lambda_{A_1}^{CS_o} * P_{A_1}^{BS_o} / \lambda_{A_1}^C. \quad (53)$$

Nous notons que la probabilité de défaillance des demandes de handover horizontal pour un service Unicast S_o ($1 \leq o \leq H$) P^{HS_o} ou handover verticale P^{VS_o} est égal à la probabilité de blocage dans la région A_s en raison que les trois types de demandes sont traités de la même manière et sont faits quand il n'y a pas suffisamment d'unités de bande passante libres dans le réseau N_1 [80].

• **Valeur moyenne du SINR reçu du réseau N_1 dans la zone A_j :** Dans notre travail, la demande d'accès à un service Unicast S_o ($1 \leq o \leq H$) dans la zone A_j ($2 \leq j \leq M$) sera acceptée par le réseau N_1 si le réseau N_j est occupé ou si les deux réseaux (N_1 and N_j) ont suffisamment d'unités de bande passante libres, et la valeur de SINR reçue du réseau N_1 est plus grande de celle du réseau N_j . Donc, le nombre de demandes qui sont acceptées par le réseau N_1 dans l'unité de temps est donnée par :

$$NC_{N_1}^{A_j} = \sum_{o=1}^H \lambda_{A_j}^{CS_o} * \left\{ \left(\sum P(x), \quad si \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC} \cap b_j = B_j \right) + \right. \\ \left. \left(\sum P(x) * P_{(N_1 > N_j)}(x), \quad si \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC} \cap b_j < B_j \right) \right\} \quad (54)$$

où $P_{(N_1 > N_j)}$ est la probabilité que la valeur SINR reçue du réseau N_1 est plus grande que celle du réseau N_j ($2 \leq j \leq M$).

La valeur de SINR reçu du réseau N_1 est reliée aux bandes passantes disponibles dans les réseaux N_1 et N_j [80]. En conséquence, nous utilisons le $SINR_1^{avg}(x)$ pour indiquer la valeur de SINR reçu du réseau N_1 lorsque le système est à l'état x . La somme des valeurs de SINR reçues du réseau N_1 est donnée par :

$$SINR_{N_1}^{sum} = \sum_{o=1}^H \lambda_{A_j}^{CS_o} * \left\{ \left(\sum P(x) * SINR_1^{avg}(x), \text{ si } \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC} \cap b_j = B_j \right) + \left(\sum P(x) * SINR_1^{avg}(x) * P_{(N_1 > N_j)}, \text{ si } \sum_{i=1}^M b_{1i} + N_{PRB}^{S_o} \leq B_1^{UC} \cap b_j < B_j \right) \right\}. \quad (55)$$

Nous supposons qu'un petit changement du SINR se produit à cause de la congestion du réseau. Ce changement est décrit par un facteur Δ qui indique la diminution maximale du SINR en raison de la congestion du réseau. L'effet de Δ sera analysé par simulation dans le chapitre suivant. La valeur de SINR reçu du réseau N_1 lorsque le système est à l'état x peut être donnée par :

$$SINR_1^{avg}(x) = SINR_1^{avg} * \left(1 - \Delta * \left(\frac{\sum_{i=1}^M b_{1i} + b_j}{B_1^{UC} + B_2} \right) \right). \quad (56)$$

En conséquence, la valeur moyenne de SINR reçu du réseau N_1 dans la zone A_j ($2 \leq j \leq M$) est donnée par :

$$\overline{SINR}_{N_1}^{A_j} = \frac{SINR_{N_1}^{sum}}{NC_{N_1}^{A_j}}, \quad \text{pour } (2 \leq j \leq M). \quad (57)$$

Cette valeur sera utilisée pour indiquer la performance du système en termes de la qualité de connexion. A partir des équations (49), (51), (53), and (57), nous pouvons analyser les performances d'un système hétérogène qui considère une stratégie de sélection basée sur la valeur estimée de SINR en termes des probabilités de blocage de demandes d'accès aux services, en addition à la valeur moyenne de SINR. De plus, ces équations peuvent être utilisées comme une base pour simuler d'autres approches reliées au type de mobilité, au type de services alloués ainsi à l'allocation des ressources au sein du système, ce qui représente le but de notre travail dans le cinquième chapitre.

4.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une technique basée sur la valeur estimée du SINR comme une stratégie de sélection dans un environnement hétérogène sans fil et mobile. Cette stratégie permet aux utilisateurs de sélectionner le réseau qui a une valeur SINR plus élevée parmi les choix possibles. Des services avec des différentes exigences et contraintes en termes de ressources ainsi que différents types de mobilité peuvent être pris en compte lors de l'analyse des performances. Une évaluation analytique complète des performances du système a été présentée en se basant sur la chaîne de Markov. Dans le chapitre suivant, nous analysons les résultats numériques obtenus des performances de la stratégie basée sur SINR et comparons nos résultats avec deux autres stratégies basées sur la puissance du signal reçu RSNS et sur la bande passante disponible TBNS. De plus, les influences du type de mobilité ainsi que l'allocation des ressources de bande passante aux différents types de services sur les performances du système seront également présentées et analysées.

Chapitre 5

Analyse des performances

Dans ce chapitre, nous utilisons la méthode d'évaluation des performances (méthode de Markov) qui a été précédemment présentée afin d'analyser plusieurs aspects du système hétérogène composé de deux types de réseaux : LTE et Wifi. Nous commençons tout d'abord par évaluer les performances de la stratégie de sélection basée sur le SINR (SINS) en termes des probabilités de blocage ainsi que la qualité de connexion des appels. De plus, nous comparons les résultats obtenus avec deux autres stratégies basées sur la puissance du signal reçu (RSNS) et sur la disponibilité de bande passante (TBNS). Ensuite, nous analysons l'effet de la mobilité des utilisateurs au sein de la zone de service sur les performances de la stratégie proposée. Pour cela, nous analysons et comparons les performances selon les modèles de mobilité 2D fluid flow et RWP qui sont largement utilisés dans l'analyse des réseaux sans fil et mobiles. Finalement, nous étudions l'influence de l'allocation de ressources du système LTE sur les performances. Premièrement, nous analysons l'effet de l'allocation d'une partie des ressources pour des services Multicast et sa relation avec le taux de demandes d'accès à ces services. Deuxièmement, nous analysons l'effet d'allocation des blocs des ressources du système LTE pour plusieurs types de services Unicast avec des exigences et des contraintes différentes.

5.1 Paramètres et scénarios de simulations

Nous considérons dans ce travail une zone de service circulaire A de rayon $R=1800$ m et les utilisateurs mobiles s'y déplacent avec une vitesse moyenne fixée à 10 m/s. Comme illustré par la figure 5.1, cette zone de service est supposée comprendre sept cellules homogènes de type A_1 situées entièrement dans la zone de service A .

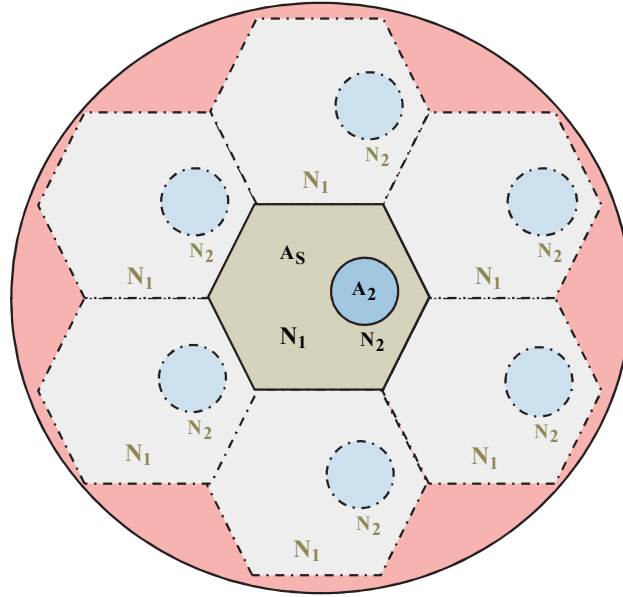


Figure 5.1 - Cluster A couvert par sept cellules A_1 .

Afin de simplifier l'analyse, nous nous focalisons à étudier une seule cellule couverte par deux types de réseaux seulement : N_1 (LTE) et N_2 (WLAN). Les paramètres principaux des deux réseaux disponibles sont illustrés dans le tableau 4.1. Le rayon de couverture des réseaux N_1 et N_2 sont respectivement de 600 et 200 m. Nous supposons que le point d'accès de la cellule couverte par le réseau N_2 est décalé de 300 m de la station de base du réseau N_1 . La puissance transmise des réseaux N_1 et N_2 sont respectivement égales à 46 dBm et 20 dBm. La puissance de bruit est égale à -174 dBm/Hz pour le réseau LTE et à -104 dBm pour WLAN [108]. Le nombre d'unités totales de bande passante sont mises à $B_1 = 50$ et $B_2 = 5$. Nous supposons que toutes les unités de bande passante du réseau N_2 (B_2) sont allouées aux utilisateurs pour offrir des services Unicast seulement. En outre, nous supposons que le réseau N_1 (LTE) fournit deux types de services : Multicast et Unicast. Nous supposons que 10 PRBs (B_1^{MC}) des unités totales de bande passante du réseau LTE sont réservés pour introduire un seul service Multicast (S_3). Le reste des unités de bande passante sont disponibles dans le réseau pour offrir des services Unicast ($B_1^{UC} = 40$). Nous supposons que les utilisateurs dans la zone de service demandent deux types de services Unicast ($H=2$) : S_1 et S_2 . Le nombre moyen de blocs de ressources qui sont exigés pour fournir ces deux services est égal respectivement à 2PRBs, 4PRBs. En outre, nous supposons que les valeurs moyennes de temps de traitement de ces trois services sont équivalentes ($\mu_{cS_1} = \mu_{cS_2} = \mu_{cS_3} = \mu_c$). Le taux moyen de demandes d'accès à ces services sont respectivement de : 40 %, 40% et 20 %. Nous rappelons que A_2 indique la partie de la cellule A_1 qui est couverte par les deux réseaux N_1 et N_2 . En revanche, A_s indique la partie de la cellule A_1 qui est couverte par le réseau N_1 seulement. Nous considérons six sources d'interférence équivalentes et distribuées aléatoirement dans la cellule A_1 . Elles utilisent la même fréquence du réseau N_1 (ces sources pourraient être considérées comme des petites cellules utilisant la même fréquence de N_1).

Tableau 5.1 - Paramètres des réseaux disponibles.

Réseaux	N_I		N_2	
Type	LTE		WLAN	
Rayon (mètre)	600		200	
Puissance	46 dBm		20 dBm	
Interférence	-174 dBm/Hz		-104 dBm	
Unités de Bande Passante	$B_1 = 50$		$B_2 = 5$	
	$B_1^{MC} = 10$	$B_1^{UC} = 40$	$B_2^{MC} = 0$	$B_2^{UC} = 5$

En se basant sur la méthode de Markov présentée dans le chapitre quatre ainsi que sur les paramètres de simulation mentionnés, nous allons analyser dans les sections suivantes les performances de la stratégie basée sur le SINR en quatre scénarios :

- Scenario 1 : Il est dédié à analyser les performances de la stratégie basée sur le SINR et comparer les résultats obtenus avec les stratégies RSNS et TBNS. Ces études sont faites dans le but d'analyser l'influence de la stratégie de sélection sur les probabilités de blocage et la qualité de connexion des appels. Dans cette partie, nous allons considérer la cellule centrale et supposer que les utilisateurs se déplacent dans la zone de service selon le modèle RWP puisqu'il représente mieux les mouvements individuels des utilisateurs.
- Scenario 2 : Il est dédié à évaluer les performances de la stratégie basée sur le SINR dans les cellules adjacentes et comparer les résultats obtenus avec ceux de la cellule centrale. Ces études sont réalisées pour chacun des modèles fluid flow et RWP dans le but d'analyser l'effet de la mobilité des utilisateurs au sein de la zone de service sur les performances.
- Scenario 3 : Il est consacré à analyser la relation entre la partie des ressources allouée au service S_3 (Multicast) et le taux de demandes d'accès à ce service sur les performances. Dans cette partie, nous reconsidérons la cellule centrale avec le modèle RWP.
- Scenario 4 : Le dernier scénario est fait dans le but d'analyser l'influence de l'allocation des ressources à chacun des services S_1 et S_2 (Unicast) sur les performances. Egalement, la cellule centrale avec le modèle RWP sont utilisés dans cette partie.

5.2 Comparaison des différentes stratégies

Dans la première partie de notre travail, nous nous intéressons à analyser et comparer les performances du système suivant plusieurs stratégies de sélection. Dans la suite, nous allons évaluer les performances du système hétérogène avec la stratégie de sélection basée sur la valeur de SINR et comparer nos résultats avec les deux stratégies, la TBNS et la

RSNS. Cette comparaison est donnée en termes de la valeur moyenne de SINR et les probabilités de blocage des demandes d'accès aux services. Nous considérons dans cette partie la cellule A_1 située dans le centre de la zone de service et supposons que les utilisateurs se déplacent dans la zone de service selon le modèle RWP. La figure 5.2 résume les principales démarches réalisées afin d'analyser et de comparer les performances des trois stratégies.

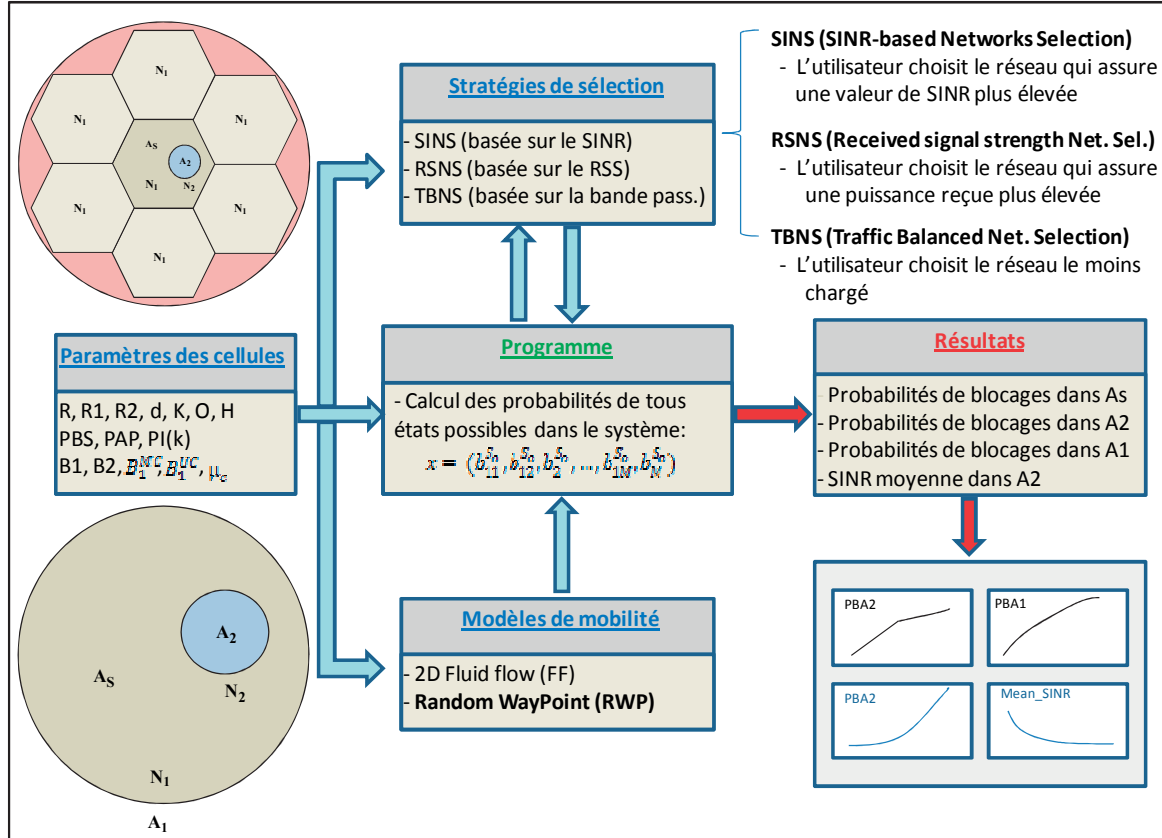


Figure 5.2 - Comparaison des différentes stratégies.

5.2.1 Calcul du SINR moyen reçu du réseau N_1 dans la zone A_2 ($SINR_1^{avg}$)

Dans cette section, nous évaluons la valeur moyenne du SINR, reçu au niveau d'un utilisateur du réseau N_1 dans la zone A_2 , pour les trois stratégies de sélection et en fonction de la puissance de l'interférence. En fait, pour les services Unicast, les utilisateurs dans la zone A_2 choisissent soit le réseau N_1 soit le réseau N_2 selon la stratégie de sélection considérée. Avec la stratégie TBNS, les utilisateurs dans la zone A_2 choisissent le réseau qui a plus d'unités de bande passante disponibles tandis qu'avec les stratégies RSNS et SINS, ils choisissent respectivement le réseau qui présente la puissance reçue ou le SINR le plus élevé. En conséquence, pour déterminer la valeur moyenne du SINR reçu du réseau N_1 dans la zone A_2 pour une stratégie donnée, on doit calculer la valeur moyenne du SINR

reçu par tous les terminaux d'utilisateurs qui ont choisi le réseau N_1 selon cette stratégie. Les résultats obtenus en termes de valeur moyenne du SINR pour les trois stratégies de sélection en fonction de l'interférence sont illustrés sur les figures 5.3 et 5.4.

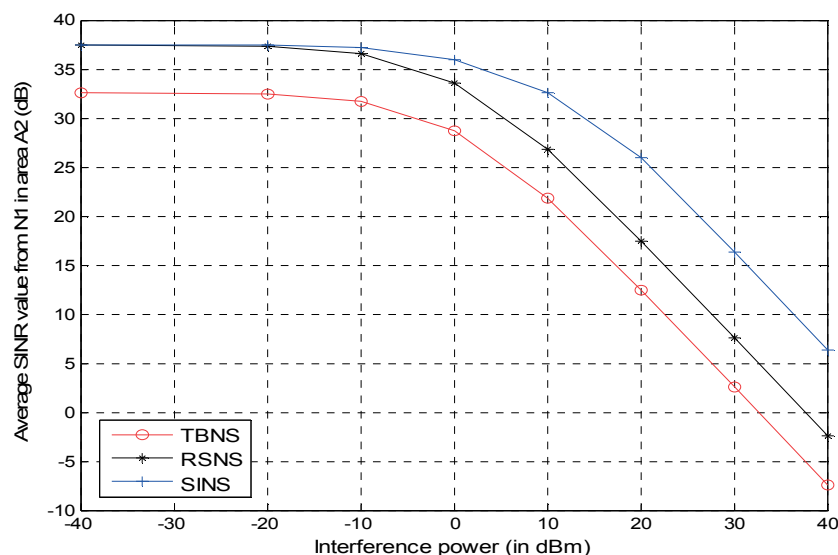


Figure 5.3 - SINR moyen reçu du réseau N_1 dans la zone A_2 .

On peut remarquer à partir de la figure 5.3 que la valeur moyenne de SINR obtenue avec la stratégie TBNS est toujours pire que celles obtenues avec la RSNS et la SINS. Cela revient au fait que la stratégie TBNS ne tient compte ni de la puissance du signal reçu ni de la puissance de l'interférence. L'utilisateur choisit le réseau le moins chargé même si le SINR reçu ou la puissance reçue à partir de ce réseau est plus faible qu'avec les autres réseaux disponibles. D'autre part, la valeur moyenne de SINR obtenue avec la stratégie SINS est équivalente à celle de RSNS lorsque la puissance d'interférence est relativement faible. Mais cette valeur augmente significativement avec la puissance d'interférence. Suivant la stratégie RSNS, la décision peut dans quelques cas être prise de choisir le réseau qui a une puissance reçue plus élevée même si les signaux sont perturbés par des interférences. Ceci conduit à choisir le réseau qui présente un SINR plus faible en comparaison avec les autres réseaux disponibles. Cet effet devient plus important avec l'augmentation de la puissance de l'interférence.

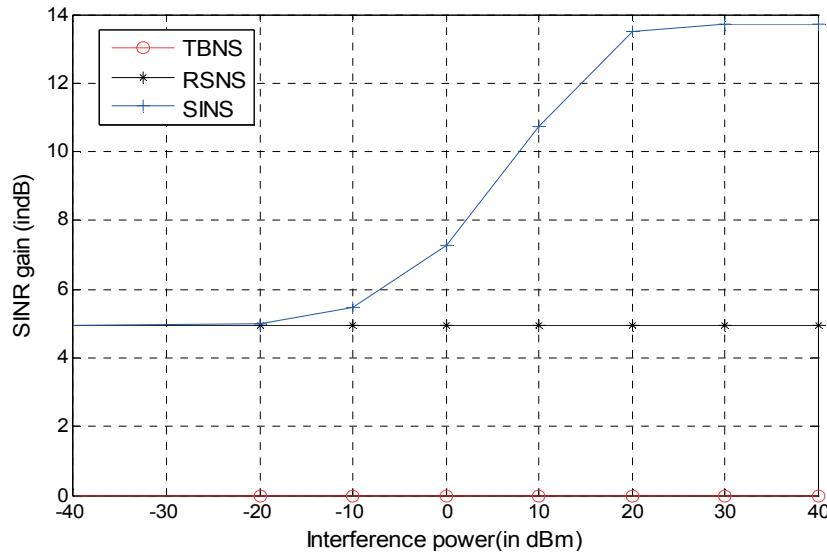


Figure 5.4 - Gain de SINR (en dB) par rapport à la stratégie TBNS.

La figure 5.4 montre le gain obtenu avec les stratégies RSNS et SINS en fonction de la puissance d'interférence. Nous remarquons que la stratégie SINS offre un gain important en termes de la valeur moyenne de SINR. Ce gain augmente évidemment avec la puissance d'interférence et atteint 9 dB par rapport à RSNS et 14 dB par rapport à TBNS. Ainsi, la stratégie proposée assure aux utilisateurs situés dans la zone A_2 des niveaux SINR supérieurs à ceux obtenus avec les deux autres stratégies et présente en conséquence une meilleure performance du système en termes de la valeur moyenne de SINR.

5.2.2 Probabilités de blocage et qualité de connexion des appels

Nous analysons et comparons dans cette section les performances des trois stratégies en fonction du trafic. Les probabilités moyennes de blocage des demandes d'accès aux services dans les zones A_5 , A_2 et dans la cellule totale A_1 pour les trois stratégies sont représentées dans les figures 5.5, 5.6 et 5.7. A partir de la figure 5.5, on peut remarquer que la probabilité moyenne de blocage des demandes d'accès aux services dans la zone A_5 , couverte par le réseau N_1 seulement, avec la stratégie RSNS est supérieure à celle des TBNS et SINS. En revanche, ce processus est inversé dans la zone A_2 qui est couverte par plus d'un réseau, comme ce qui est montré sur la figure 5.6. Avec la stratégie RSNS, les demandes d'accès aux services, arrivant dans la zone A_2 , sont acceptés par le réseau N_1 si la puissance du signal reçu du réseau N_1 est plus grande que celle du réseau N_2 . Cette stratégie ne tient pas compte de l'effet de l'interférence, alors que la puissance du signal reçu est le seul facteur de sélection. La stratégie basée sur le SINR prend en compte à la fois la puissance du signal reçu et la puissance de l'interférence. Lorsque nous introduisons une interférence dans le système, la puissance des signaux arrivant de la station de base du réseau N_1 sera influencée par les sources d'interférence qui utilisent la même fréquence et la valeur du SINR reçu du réseau N_1 va diminuer. Par conséquent, la probabilité de choix

du réseau N_1 dans la zone de chevauchement A_2 va diminuer et la majorité des demandes arrivant dans cette zone de service seront servis par le réseau N_2 (5 unités de bande passante), tandis que la majorité des unités de bande passante du réseau N_1 (40 unités de bande passante) seront disponibles pour les utilisateurs dans la zone A_s . En conséquence, et en comparaison avec la stratégie RSNS, les probabilités de blocage en SINS vont augmenter dans la zone A_2 et diminuer dans la zone A_s telles que illustrées sur les figures 5.5 et 5.6.

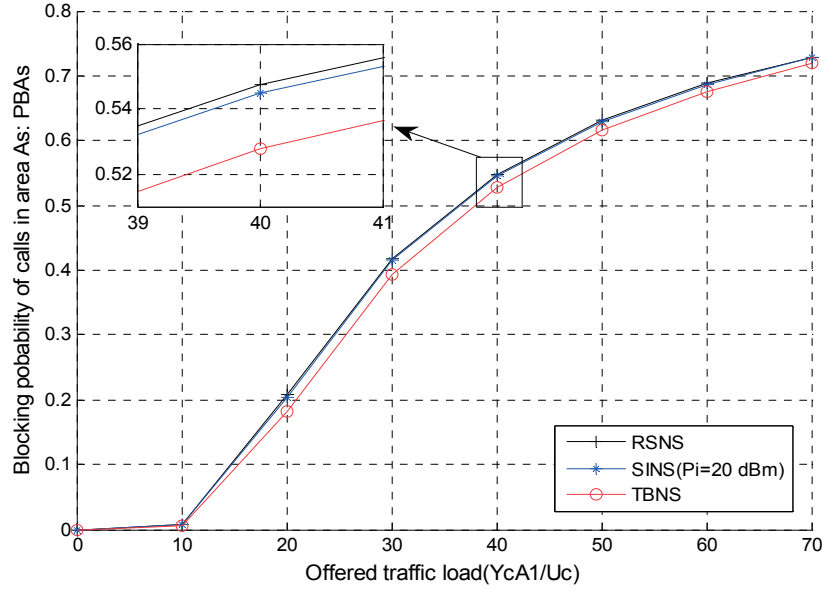


Figure 5.5 - Probabilité de blocage dans la zone A_s .

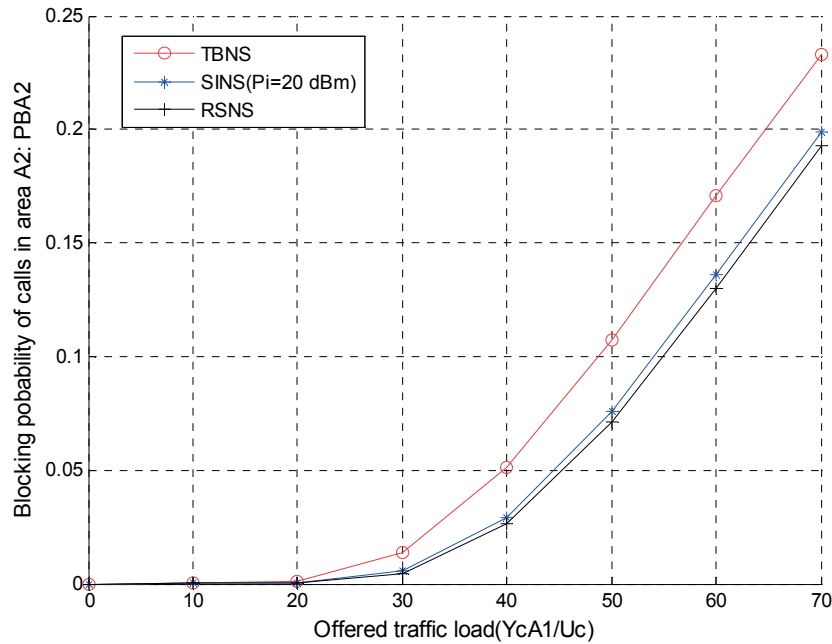


Figure 5.6 - Probabilité de blocage dans la zone A_2 .

La différence entre les probabilités de blocage des trois stratégies dans la zone totale de la cellule étudiée A_1 est représentée sur la figure 5.7. Les performances du système avec la stratégie SINS sont légèrement supérieures à celles avec la stratégie RSNS, mais elle n'atteint pas la performance de TBNS. La stratégie TBNS a évidemment moins de probabilité de blocage que les autres, car elle conduit à équilibrer la charge du trafic entre les réseaux disponibles.

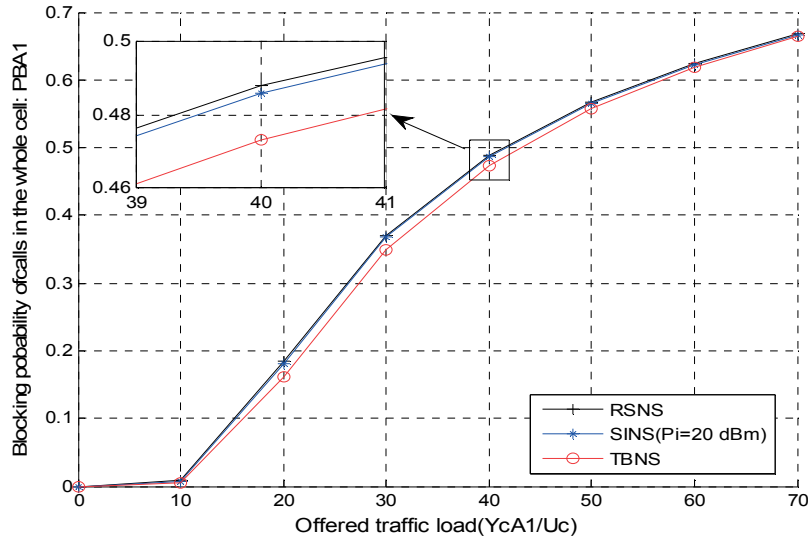


Figure 5.7 - Probabilité de blocage dans la cellule totale A_1 .

En outre, nous illustrons par la figure 5.8 la valeur moyenne du SINR reçu du réseau N_1 dans la zone A_2 pour les trois stratégies en fonction du trafic (qualité de connexion). Les résultats sont donnés pour une puissance maximale transmise des sources d'interférence fixée à 20 dBm. A partir des résultats illustrés sur cette figure, nous pouvons remarquer que la valeur moyenne de SINR avec les deux stratégies RSNS et SINS diminue à cause de la congestion du réseau alors qu'elle n'a pas d'influence en cas de la stratégie TBNS.

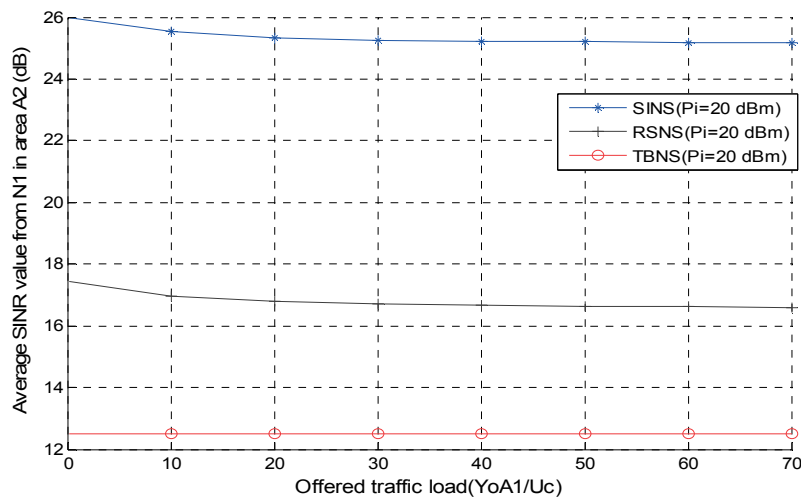


Figure 5.8 - SINR moyen reçu du réseau N_1 dans la zone A_2 .

Finalement, nous pouvons conclure que la stratégie basée sur la disponibilité de bande passante a généralement des meilleures performances en termes de probabilités de blocage, car elle prend le trafic du système en compte, cependant cela est au détriment d'une valeur de SINR plus faible et donc d'une qualité de connexion dégradée. En revanche, la stratégie basée sur le SINR a des performances moyennes en termes de probabilités de blocage et présente des meilleures performances en termes de qualité de connexion.

5.3 Comparaison des différentes cellules A_1 couvrant le cluster

Cette partie est dédiée à l'évaluation des performances du système basé sur la stratégie SINS dans les autres cellules homogènes couvrant les autres parties du cluster et à la comparaison des résultats avec ceux dans la cellule centrale (voire la figure 5.1). Pour cela, nous évaluons les performances dans les cas où la cellule A_1 est située soit dans le centre du cluster ou décalée de 1100 mètres de l'origine. Nos études dans cette partie sont effectuées pour deux types de mobilité dans le but d'analyser l'effet de la mobilité des utilisateurs dans la zone de service sur les performances du système. Nous nous intéressons tout d'abord à évaluer les performances suivant le modèle de mobilité RWP et ensuite nous présentons la différence avec celles obtenues avec le modèle 2D fluid flow. La figure 5.9 montre les probabilités moyennes de blocage des demandes d'accès aux services dans la cellule A_1 pour les deux positions et selon les deux modèles de mobilité.

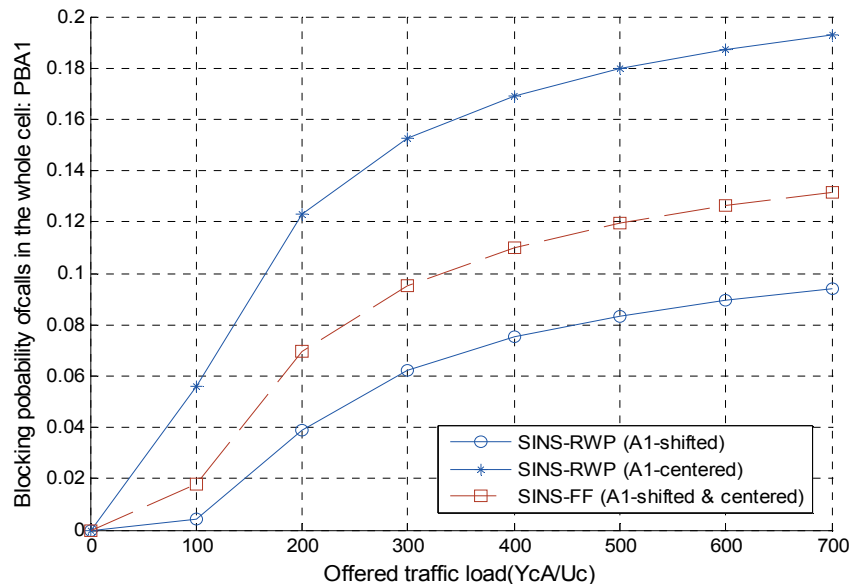


Figure 5.9 - Mobilité : Probabilité de blocage dans la cellule totale A_1 .

Pour le modèle RWP, nous pouvons remarquer sur la figure 5.9 que la probabilité de blocage dans la cellule A_1 est plus grande lorsqu'elle est située au centre du cluster que celle lorsque elle est plus proche de la frontière. Cela revient à la nature du mouvement des utilisateurs au sein de la zone de service. En effet, une des caractéristiques du modèle RWP

est que les utilisateurs situés près de la frontière ont tendance à se déplacer vers le milieu de la zone de service plutôt que vers la frontière [109][110]. Cela signifie que selon le modèle RWP, le nombre d'utilisateurs dans la cellule centrale est plus élevé que celui dans les autres. Donc et en tenant compte d'un nombre équivalent d'unités de bande passante dans toutes les cellules couvrant le cluster, on peut évidemment s'attendre à plus de demandes rejetées dans la cellule centrale que les cellules adjacentes.

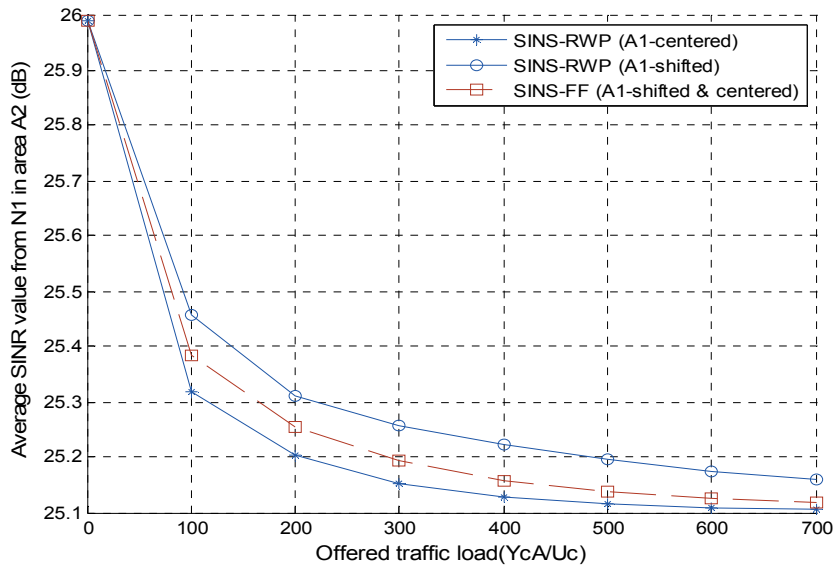


Figure 5.10 - Mobilité : SINR moyen reçu du réseau N_1 dans la zone A_2 .

Du point de vue de la qualité de connexion, on peut remarquer à partir de la figure 5.10 que les cellules situées à proximité de la frontière du cluster fournissent une valeur moyenne de SINR plus grande que la cellule au centre du fait de la réduction de la congestion au sein de ces cellules par rapport à la cellule centrée.

En revanche, nous pouvons également remarquer qu'en cas de la mobilité selon le modèle fluid flow, les performances du système exprimées grâce aux probabilités de blocage ainsi qu'à la qualité de connexion dans toutes les cellules A_1 couvrant le cluster sont identiques et cela revient à la distribution uniforme des utilisateurs au sein de la zone de service.

5.4 Analyse des performances selon le taux d'accès au service S_3

LTE Enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service (E-MBMS) permet d'envoyer les mêmes informations (services Multicast) à un groupe d'utilisateurs (abonnés) dans une cellule en utilisant un sous-ensemble de ressources disponibles alors que le reste est réservé pour offrir des services Unicast [111]. Le gain du système en termes d'unités de bande passante dans ce cas est relié au nombre de blocs de ressources (PRB) qui sont réservés aux services Multicast (chaînes de télévision, par exemple) et au nombre d'utilisateurs (abonnés) qui reçoivent ces services. Dans notre travail, nous supposons que 10 PRBs (B_1^{MC}) des unités de bande passante du réseau LTE sont réservés pour introduire

un seul service Multicast (S_3), quel que soit le nombre d'utilisateurs qui le reçoivent. Nous allons analyser les performances du système en fonction du taux de demandes d'accès à ce service. Nous rappelons que le taux total de demandes d'accès dans la cellule A_1 est une combinaison de taux de demandes d'accès aux services Unicast et Multicast. De plus, les taux moyens de demandes d'accès aux deux types de services Unicast sont équivalents.

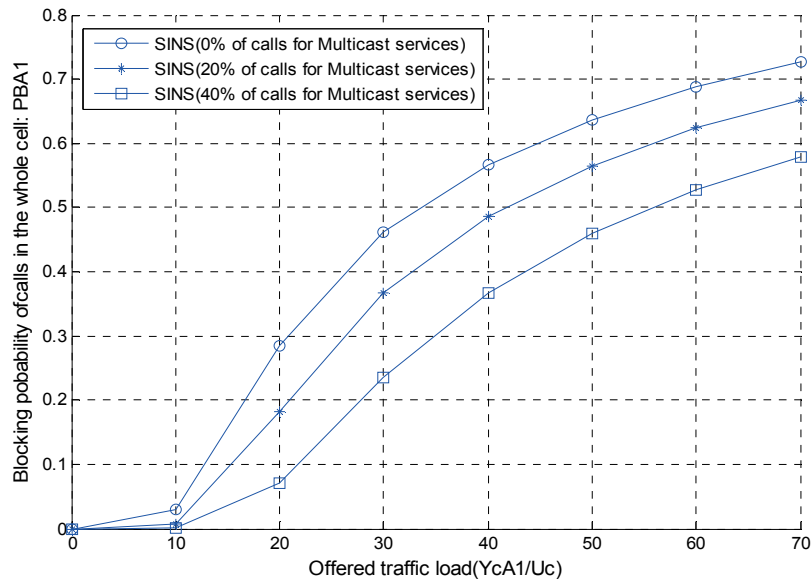


Figure 5.11 - Multicast : Probabilité de blocage dans la cellule totale A_1 .

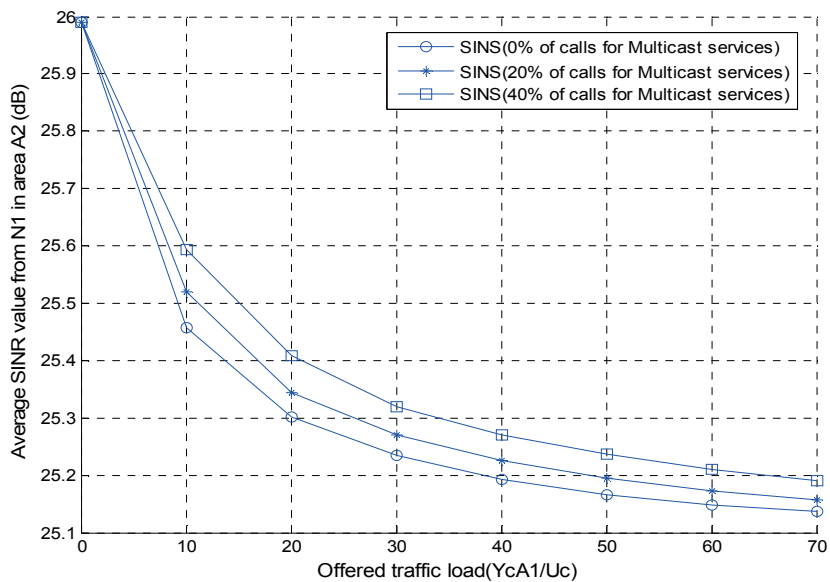


Figure 5.12 - Multicast : SINR moyen reçu du réseau N_1 dans la zone A_2 .

A partir des figures 5.12 et 5.13, on peut remarquer qu'avec l'augmentation du nombre d'utilisateurs qui demandent l'accès au service Multicast, la probabilité moyenne de blocage diminue et la qualité de connexion s'améliore au sein de la cellule. En fait, en cas de l'augmentation des demandes d'accès à ce service, s'accompagne d'une diminution des

demandes d'accès aux services Unicast. En conséquence, le nombre des demandes refusés va évidemment diminuer et la qualité de connexion des appels Unicast va augmenter grâce à la réduction de congestion vers ces services. En revanche, en cas de l'absence des demandes d'accès au service Multicast, les ressources B_1^{MC} ne seront pas du tout utilisées et tous les utilisateurs seront destinés à être servis par le reste des ressources. En conséquence, 20 % des unités totales de bande passante du système LTE sont négligées et également une inefficacité d'allocation de blocks de ressources du LTE est produite. Alors, on peut conclure qu'un compromis, entre les ressources réservées aux services Multicast et les taux de demandes d'accès à ces services doivent être réalisés. De plus, une collaboration entre les deux parties de ressources (B_1^{MC} et B_1^{UC}) est indispensable pour assurer une allocation optimale des ressources pour les deux types de services disponibles. Grâce à cette collaboration, les ressources réservées aux services Multicast peuvent être exploitées en cas de l'absence des demandes d'accès à ces services.

5.5 Allocation de PRBs aux services S_1 et S_2

Les ressources du système LTE réservées aux services Unicast sont attribuées aux utilisateurs en fonction de taux minimum de données du service demandé et de niveau de modulation et de codage MCS attribué. Dans cette partie, nous supposons que toutes les blocks de ressources du système LTE (50 PRB) sont disponibles pour offrir les services Unicast : S_1 et S_2 . Les ressources sont attribuées aux utilisateurs en fonction du service S_1 ou S_2 souhaité. Le nombre moyen de blocs de ressources qui sont requis pour fournir ces deux services est respectivement égal à 2PRBs et 4PRBs. Nous nous intéressons dans la suite à analyser l'effet de l'allocation des ressources à chacun de ces deux services sur les performances de la stratégie SINS, sachant que les taux moyens de demandes d'accès aux deux services sont équivalentes.

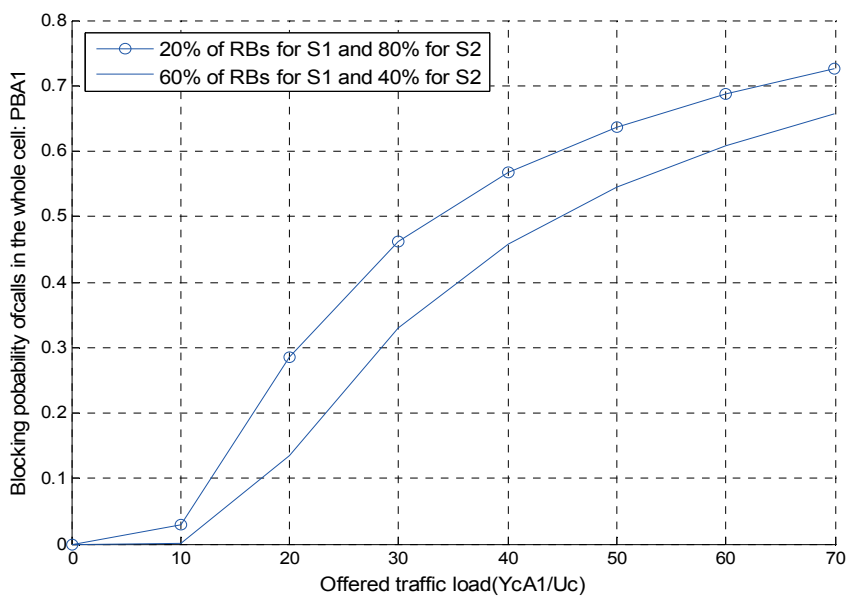


Figure 5.13 - Unicast : Probabilité de blocage dans la cellule totale A_1 .

On remarque de la figure 5.13 que, lorsqu'on utilise plus de ressources pour offrir des services de la première classe S_1 (débit de données faible), la probabilité moyenne de blocage de demandes d'accès aux services diminue dans la cellule A_1 . En effet, l'utilisation des blocks PRBs du réseau LTE pour offrir le service S_1 (2PRBs) conduit à augmenter le nombre d'utilisateurs qui peuvent être servis dans la cellule. D'autre part et comme illustré sur la figure 5.14, la qualité de connexion des appels donnée en termes de la valeur moyenne de SINR est également améliorée.

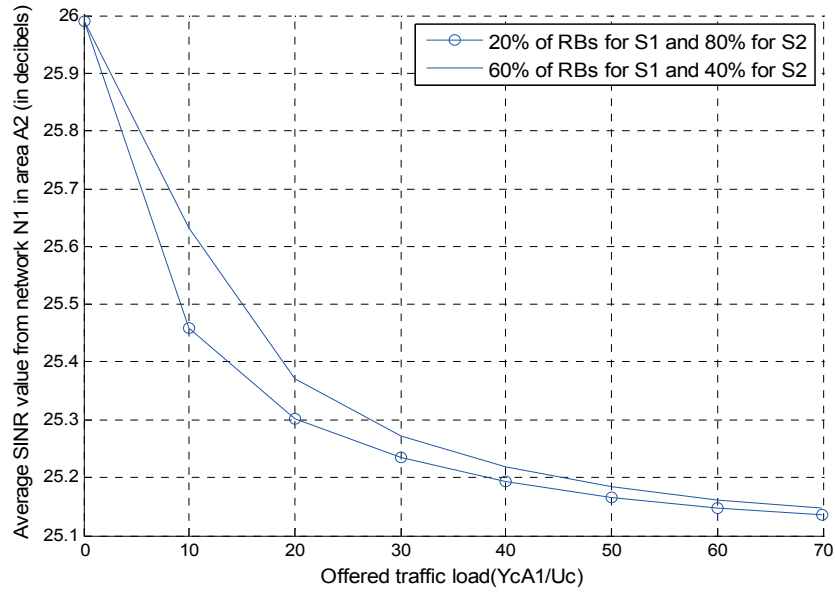


Figure 5.14 - Unicast : SINR moyen reçu du réseau N_1 dans la zone A_2 .

Par conséquent, l'augmentation des ressources allouées pour offrir des services Unicast à faible qualité de service (débit de données) conduit à améliorer les performances du système en termes de probabilités de blocage et de la qualité de connexion des appels, mais ce sera au détriment du débit moyen de données. En conséquence, un compromis doit être trouvé entre les différents types de services Unicast disponibles tout en conservant les exigences du système.

5.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons considéré une technique basée sur la valeur estimée de SINR comme stratégie de sélection entre les réseaux LAN et LTE. Nous avons analysé les performances de la stratégie proposée et comparé nos résultats avec deux autres, la TBNS et la RSNS. Les résultats numériques développés dans ce chapitre montrent que la stratégie proposée a des performances moyennes en termes de probabilités de blocage et présente des meilleures performances en termes de la qualité de connexion. Par ailleurs, en se basant sur les modèles RWP et 2D fluid flow, nous avons fourni une analyse complète des performances pour chacune des cellules couvrant la zone de service (cluster). Nos résultats

ont montré qu'avec le modèle RWP, les cellules situées à proximité de la frontière du cluster ont des probabilités de blocage plus petites et une meilleure qualité de connexion en comparaison avec la cellule dans le centre. En revanche, les performances du système avec le modèle fluid flow sont identiques dans toutes les cellules. De plus, l'allocation des ressources aux services Multicast ainsi qu'aux services Unicast avec différentes exigences et contraintes ont été également traitées et analysées. Nous avons montré que l'augmentation des ressources allouées pour offrir les services Unicast à faible QoS (débit de données) conduit à améliorer les performances du système en termes de probabilités de blocage et de la qualité de connexion des appels au détriment du débit.

Conclusion générale

Le travail réalisé dans le cadre de cette thèse a permis d'évaluer et d'optimiser la charge de signalisation dans les réseaux intelligents à grande échelle ainsi que d'analyser plusieurs aspects liés aux réseaux hétérogènes

Le premier chapitre de ce rapport a été consacré à la présentation du contexte de l'étude. Nous avons présenté en premier lieu les spécifications des réseaux intelligents ainsi que leurs objectifs principaux. Le réseau intelligent à grande échelle analysé dans cette thèse et le protocole de signalisation ont été également présentés. En deuxième lieu, nous avons décrit l'évolution des réseaux sans fil et mobiles en présentant leurs avantages et inconvénients. Nous avons signalé qu'une approche d'interconnexion entre eux permet d'exploiter des avantages de toutes les technologies et d'éliminer leurs inconvénients ce qui représente l'objectif principal des réseaux hétérogènes. Les utilisateurs dans cet environnement peuvent changer leur connexion entre plusieurs points d'accès de différentes technologies, en profitant des meilleurs services personnels en fonction de leurs propres préférences. Les critères de choix des réseaux ainsi que les modèles de mobilité décrivant le comportement des utilisateurs dans cet environnement ont été également présentés à la fin de ce chapitre.

Nous nous sommes intéressés dans le deuxième chapitre à l'analyse de la charge de signalisation au sein des réseaux intelligents à grande échelle. Ce qui caractérise ce type de réseaux est son occupation à servir des utilisateurs situés dans des vastes zones géographiques ainsi que ses équipements sont éventuellement disposés dans des régions de fuseaux horaires différents. Dans ce type de réseau, l'emplacement des équipements et la répartition du trafic peuvent jouer un rôle important dans la réduction du volume de la signalisation. Après avoir présenté la méthode de calcul, nous avons examiné plusieurs configurations du RI à grande échelle dans le but d'analyser les effets du déplacement, de l'addition des nouveaux points de commutation de services et de la redistribution du trafic sur la charge de signalisation. Nos résultats ont montré que les positions des points de commutation de services au sein d'un RI à grande échelle n'ont aucune influence ni sur la charge maximale ni sur le nombre de liens de signalisation. En outre, nous avons montré que la redistribution du trafic sur les points de commutation de services joue un rôle important dans la réduction du nombre de liens requis. Nous avons proposé un algorithme

assurant la répartition optimale du trafic avec le nombre le plus faible possible de liens de signalisation [112].

Nous sommes passés dans le troisième chapitre aux réseaux hétérogènes. Au sein du système hétérogène, une large gamme de services est toujours disponible aux utilisateurs et plusieurs réseaux d'accès peuvent être exploités pour accéder à ces services. Dans ce contexte, les terminaux mobiles sont toujours en mesure de choisir le lien d'accès le plus approprié parmi les choix possibles. Nous avons présenté dans ce chapitre une étude détaillée sur les différents mécanismes de sélection introduisant les stratégies les plus récentes et intéressantes et mettant en évidence leurs caractéristiques et limitations principales. Ensuite, nous avons présenté et analysé un exemple d'une stratégie de sélection basée sur l'approche de la fonction d'utilité. Nous avons montré que la variation des préférences des utilisateurs pour chacun des critères de choix peut affecter les performances des systèmes hétérogènes. Les différents paramètres mesurés afin d'évaluer des performances d'un système hétérogène ont également été présentés dans ce chapitre.

Dans les deux derniers chapitres, nous avons proposé une stratégie de sélection basée sur la valeur estimée de SINR dans un système hétérogène composé de deux types de réseaux : LTE et Wifi. Les utilisateurs selon cette stratégie sélectionnent toujours le réseau ayant la valeur de SINR la plus élevée pour effectuer leurs communications. En se basant sur la méthode de Markov, nous avons analysé les performances de cette stratégie en termes de probabilités de blocage des demandes d'accès aux services, de probabilités de défaillance des demandes de handover vertical ou horizontal et de qualité de connexion des appels. Nous avons commencé en premier lieu par évaluer les performances de la stratégie proposée et comparer les résultats obtenus avec deux autres stratégies basées sur la puissance du signal reçu (RSNS) et sur la disponibilité de bande passante (TBNS). Nos résultats numériques développés dans ce chapitre ont montré que la stratégie proposée a des performances moyennes en termes de probabilités de blocage et présente des meilleures performances en termes de la qualité de connexion [113][114]. Ensuite, nous avons analysé l'effet de la mobilité des utilisateurs au sein de la zone de service sur les performances de la stratégie proposée. Dans ce but, nous avons comparé les performances selon les deux modèles de mobilité, 2D fluid flow et RWP, qui sont largement utilisés dans l'analyse des réseaux sans fil et mobiles. Finalement, nous avons étudié l'allocation des ressources du système LTE aux services Multicast et Unicast avec des exigences différentes. D'une part, nous avons indiqué qu'un compromis, entre les ressources réservées aux services Multicast et les taux de demandes d'accès à ces services, doivent être réalisés. De plus, une collaboration entre les deux parties de ressources réservées aux services Multicast et Unicast est nécessaire afin d'assurer une allocation optimale des ressources pour les deux types de services disponibles [114]. D'autre part, nous avons bien montré que l'augmentation des ressources allouées aux services Unicast à faible QoS (débit de donnée) conduit à améliorer les performances du système en termes des probabilités de blocage et la qualité de connexion des appels au détriment du débit de donnée [115].

Contributions de la thèse

Les contributions principales de cette thèse sont résumées comme suit :

- Dans le domaine des réseaux intelligents à grande échelle :
 - Analyse des effets suivants sur la charge et le nombre de liens de signalisation :
 - ✓ Déplacement de point de commutation de services
 - ✓ Addition de nouveaux points de commutation de services
 - ✓ Redistribution de trafic au sein du réseau
 - Proposition d'un nouvel algorithme permettant de déterminer la distribution optimale du trafic au sein du réseau avec le moindre nombre possible de liens de signalisation.
- Dans le domaine des réseaux hétérogènes sans fil :
 - Proposition d'une technique basée sur le SINR comme la stratégie de sélection de réseau dans un environnement hétérogène dans lequel des services de type Multicast ainsi que Unicast sont disponibles.
 - Analyse des performances du système (en termes de probabilités de blocage de demandes d'accès aux services, de probabilités de refus de handover vertical ou horizontal ainsi que de qualité de connexion des appels) et comparaison des résultats avec d'autres stratégies basées sur la puissance de signal reçu et sur la disponibilité de bande passante.
 - Utilisation de deux modèles différents de mobilité 2D fluid flow et RWP pour analyser et comparer l'effet de type de mobilité sur la distribution des utilisateurs au sein de la zone de service et en conséquence sur les performances du système.
 - Analyse complète des influences de l'allocation de ressources aux différents types de services disponibles :
 - ✓ Analyse de l'effet de l'allocation d'une partie du spectre pour offrir des services Multicast et la relation avec le taux de demandes d'accès à ces services.
 - ✓ Analyse de l'effet d'allocation des ressources pour plusieurs types de services Unicast avec des exigences et contraintes différentes.

Perspectives

Les perspectives de cette thèse sont nombreuses et peuvent être annoncées par la suite :

- Dans cette étude, nous avons supposé que la stratégie de sélection choisit le réseau désiré suivant la valeur du SINR calculé lors de la décision. Comme un futur travail, cette stratégie pourrait être améliorée pour analyser la fluctuation de la valeur SINR au cours de la période de communication et la compensation du manque de ressources accompagné. Une autre extension pourrait être la combinaison des préférences des utilisateurs aux autres métriques de choix ainsi que le type d'application dans la stratégie de sélection.
- Les performances du système hétérogène sont analysées en termes des différentes probabilités de blocage ainsi que la qualité de connexion des appels. Comme un futur travail, les performances de système pourraient être évaluées en termes d'autres paramètres tels que le débit binaire, le taux d'erreurs binaires ou autre.
- Les résultats obtenus au cours de cette thèse sont analysés et comparés en considérant les modèles de mobilité fluid flow et RWP où les déplacements sont totalement aléatoires et indépendants. D'autres types de mobilité tels que les modèles qui prennent en compte les restrictions géographiques rencontrées lors du déplacement [55] pourraient être également testés et comparés.
- Concernant l'allocation de ressources aux différents services fournis, et particulièrement dans le contexte multicast, une étude approfondie est nécessaire pour comprendre comment mettre en œuvre un tel système et assurant une allocation optimale des ressources pour améliorer les performances de système et réduire les probabilités de blocage.
- D'autres extensions pourraient être l'analyse de l'extension de la couverture, l'optimisation des locations des hotspot/BS ou la gestion intelligente de la répartition du trafic (offloading) entre les réseaux sans fil et mobile.

Annexes

A : Probabilité de trouver des utilisateurs dans une cellule A_i avec le modèle RWP

En général, la distribution stationnaire des utilisateurs qui se déplacent dans une zone convexe A suivant le modèle RWP est donnée par [90] [91]:

$$f(r) = \frac{1}{\bar{l} \cdot A^2} \int_0^{2\pi} h(r, \emptyset) \cdot d\emptyset ; \quad (1)$$

et le taux moyen de sortie d'une cellule de rayon r située dans cette zone de service peut être calculé par :

$$\eta(r) = \frac{2\pi r}{\bar{l} \cdot A^2 \cdot E \left[\frac{1}{v} \right]} \int_0^\pi \sin(\emptyset) \cdot h(r, \emptyset) \cdot d\emptyset \quad (2)$$

En se basant sur l'équation (2), les auteurs en [91], ont développé une relation permettant de calculer le taux moyen de sortie d'une cellule, de rayon R_i et située à une distance d_i de l'origine, comme suit :

$$\eta_{(R_i, d_i)} = \frac{2}{\bar{l} \cdot A^2 \cdot R_i \cdot E \left[\frac{1}{v} \right]} \int_0^\pi \int_0^\pi R_i (1 - q^2) \cdot \sin \emptyset \sqrt{1 - q^2 \cos^2(\emptyset + \alpha - \beta)} d\alpha d\emptyset \quad (3)$$

D'après les équations (1), (2) et (3), on peut montrer que la densité de probabilité de trouver un utilisateur dans une cellule, de rayon R_i et située à une distance d_i de l'origine, peut être calculé par l'équation suivante :

$$f_{(R_i, d_i)} = \frac{1}{\bar{l} \cdot A^2} \int_0^{2\pi} R_i (1 - q^2) \cdot \sqrt{1 - q^2 \cos^2(\emptyset + \alpha - \beta)} \cdot d\emptyset \quad (4)$$

En revanche, la probabilité de trouver un utilisateur dans une cellule peut être donnée par la formule [92] :

$$P(r, d) = \int_A f(r, d).r.dr.d\alpha = \int_0^R \int_0^{2\pi} f(r, d).r.dr.d\alpha \quad (5)$$

En remplaçant l'équation (4) dans l'équation (5), on peut calculer cette valeur de probabilité pour une cellule, de rayon R_i située entièrement dans le cluster et décalée d_i de l'origine, par l'équation suivante :

$$P_{(R_i, d_i)} = \frac{2}{\bar{l}.A^2} \int_0^{R_i} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} R_i (1 - q^2). \sqrt{1 - q^2 \cos^2(\varnothing + \alpha - \beta)} d\varnothing d\alpha dr \quad (6)$$

B : Taux de changement de cellules avec le modèle RWP

Nous considérons un cluster de diamètre R dans lequel une cellule A_1 couverte par plusieurs réseaux hétérogènes. Dans le but de simplifier de l'analyse, nous supposons que la cellule étudiée A_1 est couverte par deux réseaux hétérogènes N_1 et N_2 tels qu'illustrés par la figure A.1. Le premier réseau N_1 fournit des services à faible bande passante et couvre la surface totale de la cellule A_1 . Tandis que le deuxième N_2 fournit des services à bande passante plus large et couvre une partie A_2 de la cellule étudiée. De plus, nous supposons que la cellule du réseau N_2 ne franchit pas la limite de la cellule étudiée A_1 .

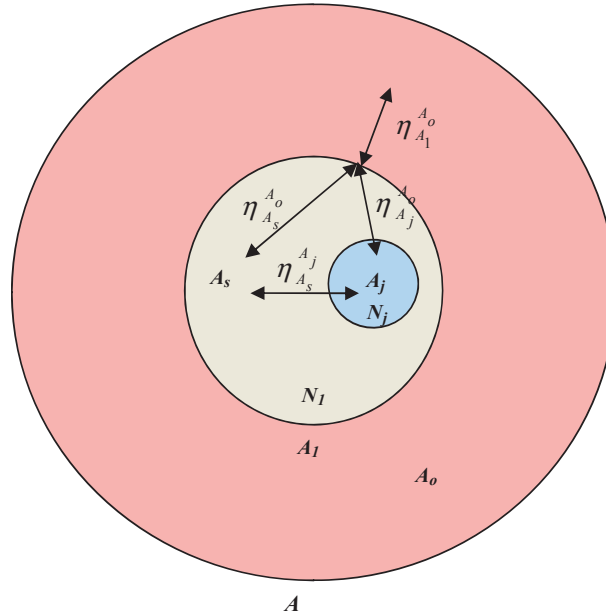


Figure B.1 - Taux de changements de cellules

A partir des équations (17 et 18) présentées dans le chapitre 4, on peut trouver les taux moyens de sortie des zones A_1 , A_2 (η_{A1o} , η_{A2o}) ainsi que les probabilités de trouver un

utilisateur mobile dans les zones de services A_1, A_2 (P_{A_1}, P_{A_2}). Ensuite, et à partir de l'équation 19, on calcule le temps moyen de séjour des utilisateurs dans les zones A_1, A_2 (T_{A_1}, T_{A_2}). En conséquence, le taux moyen de sortie de la zone A_s peut être donné par :

$$\eta_{A_s} = \frac{P_{A_1} - P_{A_2}}{T_{A_1} - T_{A_2}}. \quad (7)$$

Dans l'étape suivante, et afin de trouver les taux moyens de sortie $\eta_{A_s}^{A_2}$ de la zone A_s à A_2 , $\eta_{A_s}^{A_o}$ de la zone A_s à l'extérieur de la cellule A_1 , $\eta_{A_2}^{A_s}$ de A_2 à A_s et $\eta_{A_s}^{A_o}$ de la zone A_s à l'extérieur de la cellule A_1 , il convient de résoudre les équations suivantes :

$$\eta_{A_s} = \eta_{A_s}^{A_2} + \eta_{A_s}^{A_o} \quad (8)$$

$$\eta_{A_2} = \eta_{A_2}^{A_s} + \eta_{A_2}^{A_o} \quad (9)$$

$$\eta_{A_1} = \eta_{A_s}^{A_o} + \eta_{A_2}^{A_o}. \quad (10)$$

Il faut noter que le modèle RWP est «réversible en temps» [91] ce qui signifie que n'importe quel chemin entre les waypoints s'est également produit dans le sens inversé. Cela conduit à conclure que les taux d'arrivée des demandes à partir n'importe quel segment de ligne sont égaux dans les deux sens ($\eta_{A_i}^{A_j} = \eta_{A_j}^{A_i}$).

C : Probabilités d'état du système

Dans le but de trouver les probabilités de tous les états x possibles du système, $P(x)$, nous avons utilisé la méthode Successive Over Relaxation (SOR) pour résoudre les équations de la balance globale comme la suite :

- {
- Définir une valeur initiale positive à $\lambda'_{N_1}^{HS_o}$;
- Définir des petits critères positifs de convergence $\epsilon_1, \epsilon_{S_o}$;
- Définir le paramètre de réglage de convergence w entre 1 and 2;
- {
- $\lambda_{N_1}^{HS_o} = \lambda'_{N_1}^{HS_o}$
- Calculer les probabilités d'état $P(x)$:
- {
- $P(x) = P'(x)$
- $P'(x) = w * Gauss\ Seidel\ iterate\ of\ P'(x) + (1 - w) * P(x)$
- } Lorsque $(\sum \frac{|P'(x) - P(x)|}{|P'(x) + P(x)|} < \epsilon_1)$
- Calculer $\lambda'_{N_1}^{HS_o}$ en utilisant les probabilités obtenues (x) .

} Lorsque $(\sum \frac{|\lambda_{N_1}^{HS_o} - \lambda_{N_1}^{HS_o}|}{|\lambda_{N_1}^{HS_o} + \lambda_{N_1}^{HS_o}|} < \epsilon_{S_o})$ Pour tous les services Unicast;
 sortir des probabilités d'états d'équilibre $P(x)$
 }

Bibliographie

- [1] L. Cheng, « Wireless Awareness for Wireless Intelligent Network », *in proceeding of Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, pp. 561-564, (Penang, Malaysia), Septembre 2003.
- [2] T.H.H. Dang and H.Q. Nguyen, « Réseau intelligent dans le domaine de télécommunication », *Institut de la Francophonie pour l'Informatique (IFI)*, Hanoi, Juillet 2007.
- [3] UIT, ITU-T Recommandation Q.1201, « Architecture des réseaux intelligents ».
- [4] T. Magedanz, « Intelligent Network Evolution - Impact of Internet, CORBA, TINA and Mobile Agent Technologies », *Halfday Tutorial @ TINA 99*, October 1999.
- [5] S. Zanty, M. Gervais and P. Gervais, « Les réseaux intelligents, ingénierie des services de Télécommunication », *Book, Hermès, ISBN: 2-86601-628-9*, September 1997.
- [6] J. R. Anderson, « Intelligent Networks: Principles and Applications », *Book, IET, Telecommunication series 46, ISBN: 978-0-85296-977-9*, November 2002.
- [7] R. Noldus, « CAMEL: Intelligent Networks for the GSM, GPRS and UMTS network », *Book, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, ISBN: 9780470028483*, May 2006.
- [8] X.H. Pham and R. Betts, « Congestion Control for Intelligent Networks », *in International Zurich Seminar on Digital Communications: Intelligent Networks and their Applications*, pp. 375--386. (Zurich, Switzerland), Mars 1992.
- [9] A.B.M.R. Islam, A.B.M. Ruhunnabi and A. Hossain, « Intelligent Network Based Mobility Control at CDMA », *in International Conference on Industrial Mechatronics and Automation (ICIMA2009)*, pp. 512-515, (Chengdu, China), May 2009.
- [10] A.B.M.R. Islam and C. Tae-Sun, « An efficient charging and billing architecture for 4G mobile network: Through intelligent network concepts », *in International Conference on Communication Systems : Networks and Applications (ICCSNA2010)*, vol.1, pp.105-108, (Hong Kong, China), June 2010.

- [11] N. Boudriga, M.S. Obaidat and F. Zarai, « Intelligent Network Functionalities in Wireless 4G: Integration scheme and simulation analysis », in *Computer Communications journal*, vol. 31, pp. 3752-3759, October 2008.
- [12] W. Cong and X. Shiguo, « Study of Services Development and Control Mechanism in NGN », in *International Forum on Computer Science-Technology and Applications IFCSTA*, vol.2, pp.140-144, December 2009.
- [13] P. Podhradsky, I. Kotuliak and E. Mikoczy, « New trends in NGN technologies and network platforms », in *50th International Symposium ELMAR*, vol.2, pp.539-544, (Zadar, Croatia), September 2008.
- [14] H. Lu, Y. Zheng and Y. Sun, « The Next Generation SDP Architecture: Based on SOA and Integrated with IMS », in *International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 2008 (IITA'08)*, vol.3, pp.141-145, December 2008.
- [15] J. Miladinovic and K. Umschaden, « Intelligent Network Services in the Time of Network Migration », in *Proceeding of the 11th Int. Telecom. Network Strategy and Planning Symp*, pp. 33-38, Jun 2004.
- [16] M. Saeidi, M. Pirhadi and F. Ayazi, « Intelligent Network Services in Migration from PSTN toward NGN », in *Proceeding of the 8th Int. Conf. on Adv. Commun. Technology (ICACT 2006)*, pp. 265-269, February 2006.
- [17] B. El Ouahidi, *Modèle de types et langages de modélisation de QoS pour les systèmes repartis ouverts*, Thèse de doctorat, Université de Mohammed V- Agdal, (Rabat, Maroc), Janvier 2002.
- [18] VK. Gurbani, « Interworking SIP and Intelligent Network (IN) Applications », *Internet Draft, RFC 3978*, June 2002.
- [19] Providing IN functionality for H323 telephony calls, *Eurescom Project P916 Supporting of H323 by IN*, October 2000.
- [20] H. Schulzrinne, L. Slutsman, I. Faynberg and H. Lu, « Interworking between SIP and INAP », *draft-schulzrinne-sin-00.txt*, January 2005.
- [21] A. Handoura and D. Bourget, « Implementing Intelligent Network Services in VoIP application with SIP, TRIP and ENUM », in *Proceeding of the 2nd IEEE International Conference on Information & Communication Technologies : From theory to applications*, (Damascus, Syria), April 2006.
- [22] T. Aubonnet, *Du réseau intelligent aux nouvelles générations de réseaux : création et qualité de service*. Thèse de doctorat en informatique et réseaux, Ecole nationale supérieure des télécommunications, (Paris, France), Janvier 2002.
- [23] S. Chande, « Mobile Web Services », December 2006.

- [24] A. Handoura, *Création et sécurisation des services télécoms fixes et mobiles sur IP*. Thèse de doctorat en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication, Ecole nationale supérieure des télécommunications de Bretagne, (Brest, France), December 2009.
- [25] S. Salsano, L. Veltri, and D. Papalilo, « SIP Security Issues: The SIP Authentication Procedure and its Processing Load », *Network, IEEE*, vol.16, no.6, pp.38,44, Nov/Dec 2002.
- [26] M.K. Ranganathan and L. Kilmartin, « Performance analysis of secure session initiation protocol based VoIP networks », *Computer Communications*, vol.26, no.6, pp. 552–565, April 2003.
- [27] A. Handoura and D. Bourget, « Mobile Intelligent Network security with SIP Authentication Procedure », in *Proceeding of the 3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications (ICTTA)*, (Damascus, Syria), April 2008.
- [28] G.T. Kolyvas, S.E Polykalas and I.S. Venieris, « Overload and congestion control for intelligent network based broadband call processing systems », *Communications*, 1998. ICC 98. in *IEEE International Conference on Communications (ICC98)*, vol.1, pp.259-264, Jun 1998.
- [29] A. Chukarin, N. Bobrikov and M. Luzgachev, « Signaling and intelligent large-scale network dimensioning and planning », in *IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference MELECON*, (Malaga, Spain), pp. 725-728, May 2006.
- [30] I.L. Buzyukova, and Y.V. Gaidamaka, « Russian National Intelligent network: signaling traffic calculation for different configurations », in *IEEE international Conference EUROCON*, (St.-Petersburg, Russia), pp. 1742--1747, May 2009.
- [31] K. Al Agha, « Réseaux sans fil et mobiles », 2004.
- [32] S. Sesia, I. Toufik and M. Baker, « LTE- The UMTS Long Term Evolution : From Theory to Practice », *John Wiley & Sons, Ltd*, 2009.
- [33] J. Sanchez, M. Thioune, « UMTS », 2^e édition revue et augmentée, 2004.
- [34] M. Jamil, S. P. Shaikh, M. Shahzad and Q. Awais, « 4G: The Future Mobile Technology », *IEEE Region 10 Conference TENCON 2008*, (Hyderabad, India), November 2008.
- [35] D. Astély, E. Dahlman, A. Furuskar, Y. Jading, M. Lindstrom and S. Parkvall, « LTE: The Evolution of Mobile Broadband », *IEEE Communications magazine*, vol.56, pp. 255-267, April 2009.
- [36] L. Brunel, « 3GPP Long Term Evolution (LTE) », *Mitsubishi Electric R&D centre Europe*, February 2013.

- [37] Q. Nguyen-Vuong, *Mobility Management in 4G Wireless Heterogeneous Networks*. Thèse de doctorat en Informatique à l'Université d'Evry Val-d'Essonne, France, Juliet 2008.
- [38] S.L. Tsao and C. Lin, « Design and Evaluation of UMTS- WLAN Interworking Strategies », in *proceeding of IEEE 56th Vehicular Technology Conference (VTC 2002)*, vol.2, pp.777-781, May 2002.
- [39] M. Jaseemuddin, « An Architecture for Integrating UMTS and 802.11 WLAN Networks », in *Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on Computers and Communication (ISCC 2003)*, vol.2, pp.716-723 vol.2, June/July 2003.
- [40] Q.N. Vuong, N. Agoulmine and Y.G. Doudane, « Terminal-Controlled Mobility Management in Heterogeneous Wireless Networks », *IEEE Communications Magazine*, vol.45, no.4, pp.122-129, April 2007.
- [41] 3GPP release 6, « Feasibility study on 3GPP system to WLAN interworking », *Tech. Rep. TR22.934 v6.2.0*, September 2003.
- [42] 3GPP Release 10, « Architecture enhancements for non-3GPP accesses », *TS 23.402 V10.0.0 R.10*, June 2010.
- [43] 3GPP Stage 3, « Access to the 3GPP Evolved Packet Core (EPC) via non 3GPP access networks », *TS 24.302, v11.0.0*, September 2011.
- [44] 3GPP, « Access Network Discovery and Selection Function (ANDSF) Management Object (MO) », *TS 24.312, v11.0.0*, September 2011.
- [45] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Media Independent Handover Services, IEEE 802.21, January 2009.
- [46] K. Taniuchi, Y. Ohba, V. Fajardo, S. Das, M. Tauil, Y.H. Cheng, A. Dutta, D. Baker, M. Yajnik, and D. Famolari, « IEEE 802.21: media independent handover: features, applicability, and realization », *IEEE Communications Magazine*, vol.47 no.1, pp. 112–120, January 2009.
- [47] L. Sarakis, G. Kormentzas and F.M. Guirao, « Seamless service provision for multi heterogeneous access », *IEEE Wireless Communications*, vol.16, no.5, pp.32,40, October 2009.
- [48] IEEE P802.11u/D9.0, « Draft STANDARD for Information Technology Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks », *Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications*, April 2011.

- [49] F. Hadiji, F. Zarai and A. Kamoun, « Architecture of mobile node in heterogeneous networks », *International Conference on Communications and Information Technology (ICCIT 2012)*, pp.260-264, June 2012.
- [50] R. Trestian, O. Ormond and G.-M. Muntean, « Power-Friendly Access Network Selection Strategy for Heterogeneous Wireless Multimedia Networks », *IEEE International Symposium BMSB*, pp. 1-5, Mar 2010.
- [51] C. Schindelhauer, « Mobility in Wireless Networks », in *32nd International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science*, (Merin, Czech), January 2006.
- [52] V. Borrel, M.D. Amorim, and Serge Fdida, « On Natural Mobility Models », *International Workshop on Autonomic Communication*, (Athens, Greece), October 2005.
- [53] S. Panda and R. Mohapatra, « Implementation and Comparison of Mobility Models In Ns-2 », *Department of Computer Science and Engineering National Institute of Technology*, Rourkela, May 2009.
- [54] F. Bai and A. Helmy, « A Survey of Mobility Modeling and Analysis in Wireless Adhoc Networks », *Book Chapter in the book "Wireless Ad Hoc and Sensor Networks"*, Springer, October 2006.
- [55] I. Khider, W. Furong, Y. W. Hua and Sacko, « A Survey of Geographic Restriction Mobility Models », *Journal of Applied Sciences*, vol. 7, no.3, pp. 442-450, January 2007.
- [56] V.A. Davies, *Evaluating Mobility Models within an ad-hoc networks*, master's thesis, Colaroda School of Mines, 2000.
- [57] J. Cowling, *Dynamic Location Management in Heterogeneous Cellular Networks*. MIT Thesis, School of information technologies, university of Sydney, Australia, October 2004.
- [58] C. Bettstetter, H. Hartenstein and X. P. Costa, « Stochastic properties of the random waypoint mobility model », *ACM/Kluwer Wireless Networks: Special Issue on Modeling and Analysis of Mobile Networks*, September 2004.
- [59] C. Perkins and E. Royer, « Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing », in *the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA '99)*, pp. 90-100, February 1999.
- [60] C. Bettstetter, « Smooth is Better than Sharp: a Random Mobility Model for Simulation of Wireless Networks », in *MSWIM '01: Proceedings of the 4th ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, ACM Press, pp.19–27, July 2001.

- [61] X. Hong, M. Gerla, G. Pei and C.C. Chiang, « A group mobility model for ad hoc wireless networks », in *Proc. ACM Intern. Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, August 1999.
- [62] K. Samouylov and A. Chukarin, « Tool for the Routing Planning in a Large scale Signaling Network », in *Proceedings of the 7th International Conference on Telecommunications*, (Zagreb, Croatia), pp 579-585, June 2003.
- [63] ITU-T: White Book, Recommendation Q.1211: Introduction to intelligent network capability set 1, Geneva, March 1993.
- [64] E. Stevens-Navarro, V. Wong, « Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks », in *Proceedings of IEE Vehicular Technology Conference (VTC-Spring)*, Vol. 2, pp. 947-951, May 2006.
- [65] F. Zdarsky and J. Schmitt, « Handover in mobile communication networks: who is in control anyway », in *Proceedings of the 30th Euromicro Conference*, pp. 205-212, Aug./Sept. 2004.
- [66] C.W. Lee, L.M. Chen, M.C. Chen and Y.S. Sun, « A Framework of Handoffs in Wireless Overlay Networks Based on Mobile IPv6 », *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.23, no.11, pp. 2118-2128, November 2005.
- [67] M. Kassar, B. Kervella and G. Pujolle, « An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks », *Computer Communications*, pp.2607-2620, October 2008.
- [68] X. Yan, Y. A. Sekercioglu and S. Narayanan, « A survey of vertical handover decision algorithms in Fourth Generation heterogeneous wireless networks », *Computer Networks*, vol.54, no.11, pp. 1848-1863, August 2010.
- [69] A. Bhuvaneswari and G.D.P. Raj, « An Overview of Vertical Handoff Decision Making Algorithms », *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*, vol.9, no.7, pp. 55-62, August 2012.
- [70] G.P. Pollini, « Trends in handover design », *IEEE Communications Magazine*, pp. 82-90, March 1996.
- [71] K. Pahlavan, P. Krishnamurthy, A. Hatami, M. Ylianttila, J-P Makela, R. Pichna and J. Vallström, « Handoff in Hybrid Mobile Data Networks », *IEEE Personal Communications*, Vol.7, no.2, April 2000.
- [72] M. Nam, N. Choi, Y. Seok, and Y. Choi, « WISE: Energy-efficient interface selection on vertical handoff between 3G networks and WLANs », in *15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, vol.1, pp.692,698, September 2004.

- [73] M. Stemm and R. H. Katz, « Vertical handoffs in wireless overlay networks », *Mobile Network Application.—Special Issue on Mobile Networking in the Internet*, vol. 3, no. 4, pp. 335–350, January 1998.
- [74] K. Yang, I. Gondal, B. Qiu and L.S. Dooley, « Combined SINR Based Vertical Handoff Algorithm for Next Generation Heterogeneous Wireless Networks », in *proceeding of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '07)*, pp.4483-4487, November 2007.
- [75] K. Ayyappan, K. Narasimman, P. Dananjayan, « SINR Based Vertical Handoff Scheme for QoS in Heterogeneous Wireless Networks », in *proceeding of International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC 2009)*, pp.117-121, April 2009.
- [76] M. Al-Ghadi, I. Ababneh and W. Mardini, « Performance study of SINR scheme for Vertical Handoff in wireless network », in *Proceeding of the International Conference on Information and Communication Systems (ICICS 2011)*, (Irbid, Jordan), PP. 1-3, May 2011.
- [77] J. McNair and F. Zhu, « Vertical handoffs in fourth-generation multi network environments », *IEEE Wireless Communications*, vol.11, no.3, pp.8-15, June 2004.
- [78] Q.T. Nguyen-Vuong, Y. Ghamri-Doudane and N. Agoulmine, « On utility models for access network selection in wireless heterogeneous networks », in *Network Operations and Management Symposium (NOMS 2008)*, pp. 144-151, April 2008.
- [79] H. Wang, R. Katz and J. Giese, « Policy-enabled handoffs across heterogeneous wireless networks », in *Second IEEE Workshop on Proceeding of Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA '99)*, pp.51-60, February 1999.
- [80] W. Shen and Q. A. Zeng, « Cost-function-based network selection strategy in integrated wireless and mobile networks », *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, no. 6, pp. 3778-3788, November 2008.
- [81] H. Attaullah, F. Iqbal and M.Y. Javed, « Intelligent vertical handover decision model to improve QoS », in *proceeding of Third International Conference on Digital Information Management (ICDIM 2008)*, pp.119,124, November 2008.
- [82] Q. He, « A novel vertical handoff decision algorithm in heterogeneous wireless networks », *IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Information Security (WCNIS)*, pp.566-570, June 2010.
- [83] Q. Guo, J. Zhu and X. Xu, « An adaptive multi-criteria vertical handoff decision algorithm for radio heterogeneous network », in *IEEE International Conference on Communications (ICC 2005)*, vol. 4, pp. 2769–2773, May 2005.
- [84] K. Pahlavan, P. Krishnamurthy, A. Hatami, M. Ylianttila, J.P. Makela, R. Pichna, and J. Vallström, « Handoff in hybrid mobile data networks », *IEEE Personal Communications*, Vol.7, no.2, April 2000.

- [85] N. Nasser, S. Guizani and E. Al-Masri, « Middleware vertical handoff manager: a neural network-based solution », in *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'07)*, (Glasgow, Scotland), pp. 5671–5676, June 2007.
- [86] K. Mahmud, M. Inoue, H. Murakami, M. Hasegawa and H. Morikawa, « Measurement and usage of power consumption parameters of wireless interfaces in energy-aware multi-service mobile terminals », in *15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, vol. 2, pp. 1090-1094, September 2004.
- [87] K. Yang, I. Gondal, B. Qiu, « Multi-Dimensional Adaptive SINR Based Vertical Handoff for Heterogeneous Wireless Networks », *IEEE Communications Letters*, vol.12, no.6, pp.438,440, June 2008.
- [88] 3GPP Release 6, « RF System Scenario », TR 25.942 V6.4.0, March 2005.
- [89] Q.A. Zeng and D. P. Agrawal, « Modeling and efficient handling of handoffs in integrated wireless mobile networking », *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 51, no. 6, pp. 1469–1478, November 2002.
- [90] E. Hyttiä, P. Lassila and J. Virtamo, « Spatial Node Distribution of the Random Waypoint Mobility Model With Applications », *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 5, no. 6, pp. 680-694, June 2006.
- [91] E. Hyttiä and J. Virtamo, « Random Waypoint Mobility Model in Cellular Networks », *Wireless Networks*, vol. 13, no. 2, Springer, October 2007.
- [92] C. Bettstetter and C. Wagner, « The spatial node distribution of the random waypoint mobility model », In *Proceedings of German Workshop on Mobile Ad Hoc networks(WMAN)*, (Ulm, Germany), March 2002.
- [93] Global Mobile Statistics 2012, « <http://mobithinking.com/mobile-marketingtools/latest-mobile-stats> », January 2012.
- [94] Juniper Research, « <http://juniperresearch.com/viewpressrelease.php?pr=237> », January 2011.
- [95] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2010–2015, white paper. « http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.pdf », December 2011.
- [96] Juniper Research, « Mobile Data Offload & Onload: Wifi & Small Cell Strategies 2012-2016 », June 2012.
- [97] V. Gupta and M. K. Rohil, « Enhancing WiFi with IEEE802.11u for mobile data offloading », in *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics (IJMNCT)*, vol.2, no.4, August 2012.

- [98] J. ZYREN and W. MCCOY, « Overview of the 3GPP long term evolution physical layer », Free scale Semiconductor, white paper, June 2007.
- [99] S. Choi, K. Jun, Y. Shin, S. Kang, and B. Choi, « MAC scheduling scheme for VoIP traffic service in 3G LTE », in *Proceedings of 66th IEEE Vehicular Technology Conference Fall (VTC'07-Fall)*, (Baltimore, U.S.A), pp. 1441–1446, Sept./Oct. 2007.
- [100] G. Cao, D. Yang, X. Zhu and X. Zhang, « A joint resource allocation and power control algorithm for heterogeneous network », in *Proceeding of the International Conference on Telecommunication (ICT2012)*, (Jounieh, Lebanon), April 2012.
- [101] 3rd Generation Partnership Project (3GPP) release 10, « LTE: E-UTRA; physical layer procedures », *TS 36.213 version 10.3.0*, October 2011.
- [102] J. Fan, Q. Yin, G.Y. Li, B. Peng and X. Zhu, « Adaptive block-level resource allocation in OFDMA networks », *IEEE transactions on Wireless Communications*, vol. 10, PP. 3966- 3972, November 2011.
- [103] J. C. Ikuno, M. Wrulich, and M. Rupp, « System level simulation of LTE networks », in *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1–5, May 2010.
- [104] Ericsson Consumer Lab report, TV and video—changing the game, available at: « <http://www.ericsson.com/res/docs/2012/consumerlab/consumerlab-tv-videochanging-the-game.pdf> », Ericsson, November 2012.
- [105] Ericsson Mobility Report, On the pulse of the Networked Society, available at: « <http://www.ericsson.com/res/docs/2012/ericsson-mobility-reportnovember-2012.pdf> », Ericsson, November 2012.
- [106] Mobile Content Venture, Dyle Mobile TV Data Report, available at: « <http://www.dyle.tv/assets/Uploads/DyleReport.pdf> », June 2012.
- [107] Opportunity and impact of video on LTE networks, White Paper, Motorola, November 2009.
- [108] B. Clerckx, A. Lozano, S. Sesia, C. van Rensburg and C. Papadias, « 3GPP LTE and LTE-Advanced », *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Special issue on 3gpp LTE and LTE-Advanced*, November 2009.
- [109] C. Bettstetter, « Mobility modeling in wireless networks: Categorization, smooth movement, and border effects », *Mobile Computing and Communications Review (ACM)*, vol. 5, no. 3, pp.55-67, July 2001.
- [110] E. M. Royer, P. M. Melliar-Smith, and L. E. Moser, « An analysis of the optimum node density for ad hoc mobile networks », in *Proceeding of IEEE International Conference on Communication (ICC)*, (Helsinki, Finland), June 2001.

- [111] P. Lescuyer, T. Lucidarme, « Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS », Wiley. pp. 140-143, January 2008.
- [112] A. Jabban, Y. Nasser, and M. Héland, « Optimization of the Number of Signaling Links in Intelligent Large-Scale Networks », in *Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6883, p. 116-125, 2011
- [113] A. Jabban, Y. Nasser, and M. Héland, « SINR Based Network Selection Strategy in Integrated Heterogeneous Networks », in *Proceeding of the International Conference on Telecommunication (ICT2012)*, (Jounieh, Lebanon), p. 1-6, April 2012.
- [114] A. Jabban, Y. Nasser et M. Héland, « On The Performance Analysis and Evaluation of Heterogeneous Networks HandOver Based on SINR Selection Strategy », *submitted to IEEE transactions on Wireless Communications*.
- [115] A. Jabban, Y. Nasser, and M. Héland, « Performance Analysis of Heterogeneous Networks Based on SINR Selection Strategy », in *Proceeding of the International Conference on Telecommunication (ICT2013)*, (Casablanca, Morocco), May 2013.

AVIS DU JURY SUR LA REPRODUCTION DE LA THESE SOUTENUE

Titre de la thèse:

Optimisation et analyse des réseaux intelligents et des réseaux hétérogènes

Nom Prénom de l'auteur : JABBAN AHMAD

Membres du jury :

- Monsieur DIOURIS Jean-François
- Monsieur LOSTANLEN Yves
- Monsieur NASSER Youssef
- Madame HELARD Maryline
- Monsieur CRUSSIÈRE Matthieu
- Monsieur BUREL Gilles

Président du jury : J. F. DIOURIS

Date de la soutenance : 16 Septembre 2013

Reproduction de la thèse soutenue

- ☒ Thèse pouvant être reproduite en l'état
☐ Thèse pouvant être reproduite après corrections suggérées

Fait à Rennes, le 16 Septembre 2013

Signature du président de jury

Le Directeur,

M'hamed DRISSI

